Focus EXTRA

€ 5,90
IN ITALIA

GENEALOGIA
Una grande famiglia: esploratori, soccorritori, operai...

CURIOSITÀ
Gare, squadre, sesso: le prestazioni

DALL'ITALIA
Sua eccellenza iCub: il robot bambino che impara, raccontato in un grande progetto multimediale

SCENARI
Dai cyborg ai trasporti, ci danno nuovi poteri

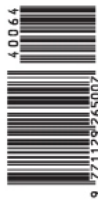
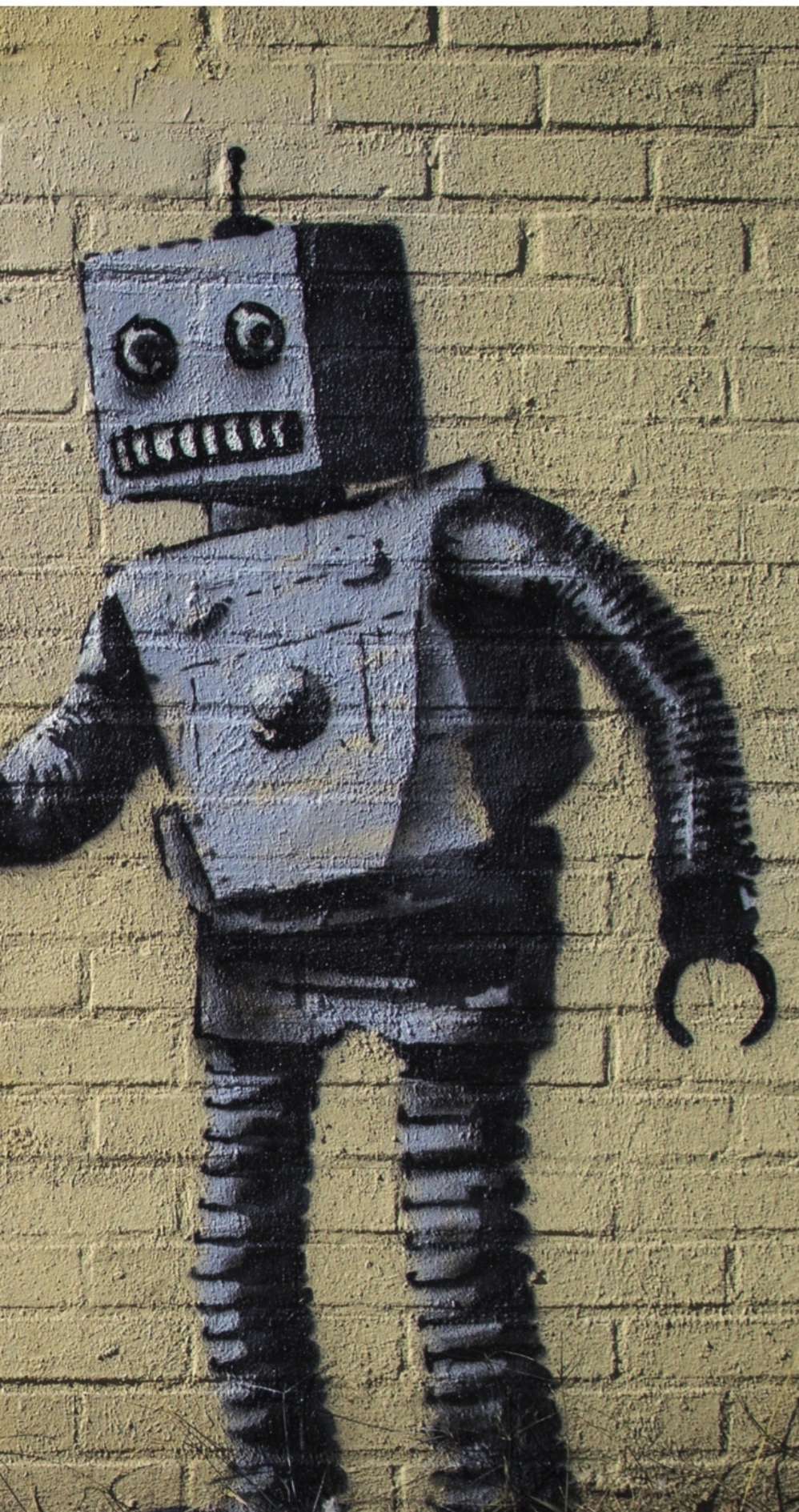
SALUTE
Badanti e chirurghi del futuro

STORIA
Da Leonardo ai profeti della fantascienza

FUTURO
Sempre più piccoli e intelligenti

ECONOMIA
Un mercato in grande espansione

ROBOT

Sono già fra noi. Così miglioreranno la nostra vita

Austria, Belgio, Francia, Portogallo (cont.), Spagna € 9,00 / Canada CAD 15,00 / Germania € 10,00 / Svizzera Chf 13,00 – C.T. Chf 12,50 / USA $ 14,00
Poste Italiane / Sped. in A.P. D.L. 353-03 art. 1, Comma 1 / Verona CMP
FOCUS EXTRA 64 - Estate 2014

Graffitaro con i chip

Chi l'ha detto che i robot sono capaci solo di eseguire gli ordini per cui sono stati programmati? Qualcuno di loro potrebbe esprimere la propria carica creativa ribelle... disegnando graffiti sui muri.
Come il britannico Bansky, il più famoso artista metropolitano al mondo. Su un muro di Coney Island, a New York, ha ritratto questo automa "vecchio stile" mentre a sua volta disegna - rigorosamente con la vernice spray - il graffito d'un codice a barre. Due simboli della tecnologia e del mercato, che rimandano l'uno all'altro in un divertente cortocircuito. Certo, i robot non sono - per ora? - artisti ribelli, ma sono capaci davvero di disegnare, oltre che di scrivere, di suonare strumenti musicali e di fare molto altro. Come potrete scoprire nelle prossime pagine.

Buona lettura

FocusEXTRA

N. 64 Estate 2014

Una rivoluzione invisibile

“Sono le 7: suona la sveglia, e il pulitore elettronico inizia a lavare la piscina. Il signor Rossi mette la tazza di latte nel microonde, che lo riscalda al punto giusto. Poi esce di casa: sale sul metrò automatico e dopo 4 stazioni giunge in ufficio. Spinge il pulsante e arriva il più vicino degli 8 ascensori del palazzo. Giunto alla scrivania, accende il computer e vede che il conto corrente è cresciuto: nella notte il sistema ha venduto le sue azioni, facendogli incassare 750 euro. Chiama la moglie per darle la notizia: festeggeranno a cena. Lei va a prenderlo, e l'auto passa su una pozzanghera senza sbandare, grazie al sistema di antislittamento adattativo...
Rossi non lo sa, ma tutta la sua giornata è stata scandita dai robot. Certo, sono diversi da come ce li facevano immaginare i romanzi e i libri di fantascienza, ma poco importa: gli automi sono già entrati nella nostra vita, senza che ce ne rendessimo conto. Ci danno nuovi poteri, ci coinvolgono, ma creano scenari imprevisti: sceglieranno sempre per il meglio? Ci ruberanno il lavoro? Nel dubbio, meglio convincere i nostri figli a studiare robotica. Potrebbero aiutarci a costruire un futuro migliore.”
Vito Tartamella

68

90

Ci insegnano come funziona il mondo

I robot potranno sostituirci in molti campi. Compresa l'intelligenza (se riusciremo a capire che cosa sia esattamente).

Sono già intorno a noi. Puliscono i pavimenti, lavorano nelle fabbriche, giocano in Borsa. Ma a cosa servono i robot? Chi li progetta? E perché? Lo spiega Andrea Bonarini, docente di Ingegneria dell'informazione al Politecnico di Milano, per anni tra i responsabili di RoboCup, il progetto mondiale che mira a creare, entro il 2050, una squadra di automi calciatori capace di sfidare i campioni del mondo. Bonarini ha coordinato numerosi progetti di robot autonomi, come la Roby Wheel Chair, una carrozzina capace di muoversi interpretando le intenzioni dell'utente. E ora lavora allo sviluppo di robot per il gioco e a basso costo, che possano entrare nelle case di tutti.

Andrea Bonarini, 57 anni. Si occupa di robot dal 1984 al Politecnico di Milano, dove è membro del progetto di intelligenza artificiale e robotica. Ha pubblicato più di 140 articoli in riviste, libri e atti di congressi internazionali.

Che cos'è un robot?
È un oggetto fisico, non solo un software, dotato di sensori che gli consentono di percepire l'ambiente circostante e di attuatori che gli consentono di muoversi. Non è quindi solo un calcolatore, ma qualcosa in grado di agire, muoversi, capire, parlare, emettere suoni e luci: in generale, operare nell'ambiente.

Ci sono tanti tipi di robot, però. Questa definizione è valida per tutti?
C'è chi dice che i veri robot sono solo quelli autonomi, cioè quelli che riescono a muoversi e prendere decisioni da soli in un ambiente non definito, non strutturato, pieno di incognite. Non una fabbrica, per intenderci, ma il mondo esterno. Ma sono robot anche quelli industriali, dotati di strumenti per "sentire" il mondo circostante e agire di conseguenza. E perfino le lavatrici stanno diventando robot, capaci di prendere da sé delle decisioni e di fare scelte.

Cosa ha reso possibile il loro sviluppo?
Innanzitutto la comparsa di sensori sempre più sofisticati e a basso costo, che consentono alle macchine di avere una percezione sempre più precisa del mondo. Parliamo di videocamere ad alta risoluzione o sensori laser che aiutano a costruire mappe dell'ambiente e che danno risposte in tempo reale. Utili, per esempio, per realizzare automobili autonome che viaggiano a 100 km/h sapendo dove stanno andando, che cosa hanno intorno e dove sia la strada. Tutti questi sensori forniscono una mole di dati impressionante che va elaborata e interpretata. Perciò anche l'evoluzione dei calcolatori è stata fondamentale: è aumentata la potenza e diminuito l'ingombro, così possiamo installare nei robot la capacità di calcolo necessaria.

E il prossimo passo quale sarà?
Avere batterie che forniscano energia a lungo. Oggi un umanoide complesso, equipaggiato con una cinquantina di attuatori (congegni capaci di trasformare un segnale in movimento) resta in vita mezz'ora. Troppo poco per essere utile.

I primi robot commerciali non hanno sembianze umane. Perché?
Il robot umanoide è più difficile da fare e costa molto di più. Realizzarne uno in dimensioni naturali e che funzioni costa milioni di euro. Fare un robot a ruote costa poche centinaia di euro.

Quindi non vedremo robot simili a noi nel futuro?
In realtà ci si lavora molto. In Giappone, una decina di anni fa è stato varato un

ingente piano di investimenti per finanziare la ricerca sugli umanoidi. Anche in Italia abbiamo progetti in corso. Ma un robot deve svolgere un compito, e gli umanoidi così come sono fatti oggi non servono a nulla: alcuni corrono, altri salgono le scale, ma non molto più di questo. Di recente la Darpa, l'Agenzia Usa di ricerca per la difesa, ha indetto un concorso per un robot in grado di condurre missioni di salvataggio in ambienti a rischio, come una centrale nucleare in avaria. Tra quelli che hanno svolto meglio il compito c'erano anche non umanoidi e un robot su cingoli.

Il "guru" americano Ray Kurzweil dice che presto i robot saranno più intelligenti di noi. È d'accordo?
Non siamo ancora stati capaci di definire che cosa sia l'intelligenza umana, mi sembra impossibile dire che cosa sia per una macchina. Di recente l'Università di Reading (Uk) ha annunciato che il proprio software Eugene Goostman avrebbe superato il test di Turing: avrebbe cioè conversato con esseri umani senza che questi si accorgessero di avere a che fare con una macchina. Ma in realtà il software ci è riuscito soltanto nel 30% dei test. Se sei "intelligente" quanto l'uomo lo sei sempre, non una volta su tre.

In futuro uomini e macchine potranno dialogare alla pari?
È possibile. A patto che serva a qualche cosa. Se qualcuno ci metterà i soldi necessari, non vedo ostacoli. Tranne i limiti della fisica: arrampicarsi in verticale o saltare giù da un palazzo sarà sempre pericoloso, anche per i robot.

Un problema da risolvere è l'autonomia: occorrono batterie più potenti

In quali campi i robot possono aiutarci?
Un settore è l'assistenza ad anziani o malati: si lavora sul contatto fisico con le persone, che vanno sollevate o trasportate in sicurezza. E sul rapporto emotivo: alcuni robot sono programmati per suscitare empatia e risvegliare i rapporti con l'ambiente. Poi i robot ci possono aiutare a fare tante cose ripetitive, pesanti, pericolose. Per il momento ci aiutano nelle fabbriche, ma l'idea è riuscire a sostituirci all'esterno, in ambienti complessi e per compiti rischiosi.
I giapponesi hanno provato a usare i robot a Fukushima, ma dopo poco le radiazioni li avevano messi fuori combattimento. Però siamo a buon punto con le auto: guidare è noioso, presto avremo auto robotiche che lo faranno per noi. Per il 2020 tutte le grandi case automobilistiche prevedono di avere vetture autonome.

Avranno solo compiti pratici, quindi?
No, i robot possono anche farci divertire. Di recente Apple ha presentato un gioco di automobiline robotiche (AnkiDrive) che ha raccolto 50 milioni di dollari di finanziamento. Il settore dei giochi è ricco di opportunità.

Ma se un'auto robotica fa un incidente di chi è la colpa?
Avrà un'assicurazione. L'uso dei robot, comunque, richiede regole. L'Italia, sempre un po' lenta ad accogliere le novità tecnologiche, qualche mese fa ha introdotto una normativa per regolare l'uso di droni (macchine volanti) telecomandati, ormai molto diffusi. E così sarà per ogni robot che conquisterà un mercato: queste macchine possono aiutare le persone, ma anche far male.

I robot possono essere pericolosi?
Come ogni attività umana. Potranno aiutarci, ma anche sbagliare e danneggiarci. Ma già oggi affidiamo alle macchine aspetti essenziali della nostra vita e dell'economia. Pensiamo agli algoritmi che governano gli scambi di Borsa o la distribuzione dell'energia elettrica. Quante volte sono già successi guai perché degli automatismi non hanno funzionato bene? Un robot è sempre un compromesso tra vantaggi e svantaggi.

Dove sta andando la ricerca sui robot?
Si lavora molto a robot in grado di sapere in ogni momento dove si trovano. È lo Slam (Simultaneous Localization And Mapping, mappatura e localizzazione simultanei), che usa dati sensoriali per permettere al robot di creare una mappa dell'ambiente in cui si trova. Poi si studia l'interazione tra uomo e robot, per avere macchine che capiscano cosa dice una persona, interpretando anche le sue espressioni facciali o i suoi gesti. Si procede anche nel campo degli umanoidi: oggi questi robot sono poco efficienti dal punto di vista energetico. A noi invece, per agire basta la poca energia che assumiamo col cibo. La natura ha trovato soluzioni ottime per risolvere il problema dell'efficienza e copiarle potrebbe essere una strada. È la robotica bioispirata.

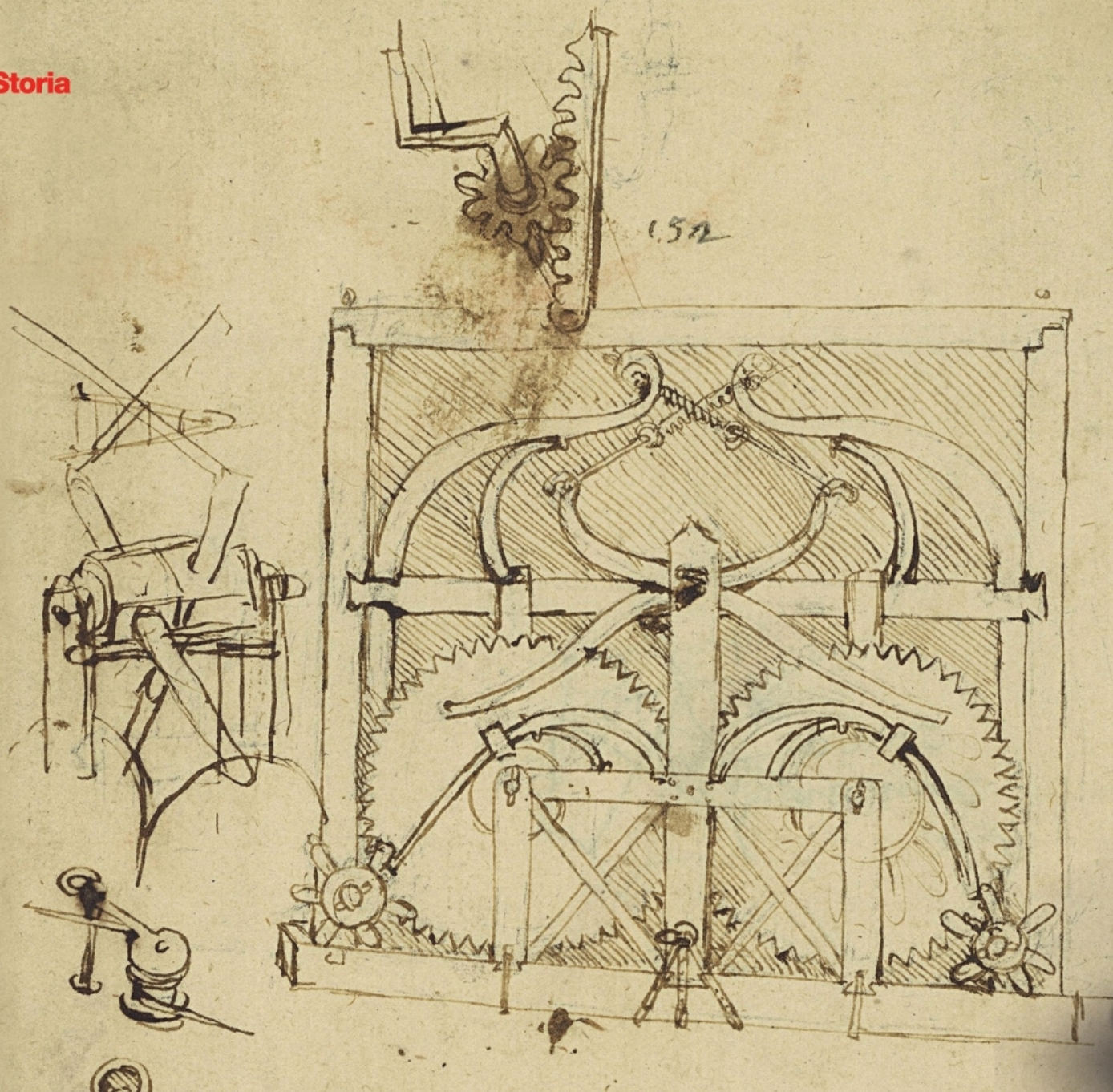
Tempo fa si diceva che avremmo avuto un robot in casa. Succederà mai?
Si sta cercando da tempo la "killer application" in grado di fare dei robot dei prodotti di massa. In qualche caso è già accaduto, come per i robot aspirapolvere. E anche i giochi promettono bene. Di recente, a un congresso, ho visto la presentazione di robot per il sesso. Potenzialmente, è un mercato enorme, lo stesso che ha portato alla diffusione mondiale di Internet.

I settori più promettenti: i giochi, la casa e anche il sesso

Cosa le piace di più del suo lavoro?
Creare un oggetto che riesce a interagire con il mondo e a fare quel che voglio che faccia. È un mestiere creativo, che porta a realizzare oggetti che non si limitano ad avere una forma e una funzione, come quelli di design, ma che devono anche continuare a "vivere".

Consiglierebbe a un giovane di studiare robotica?
Certo! I robot appassionano e rendono più facile l'apprendimento. Un professore di un istituto di avviamento professionale mi disse: «Da quando ho portato i robot in classe non riusciamo più a far uscire i ragazzi dalla scuola. Prima non riuscivamo a farli entrare». Realizzare robot ti insegna, divertendo, la programmazione, l'elettronica, la meccanica e molte altre tecnologie. E si impara anche come funziona il mondo.

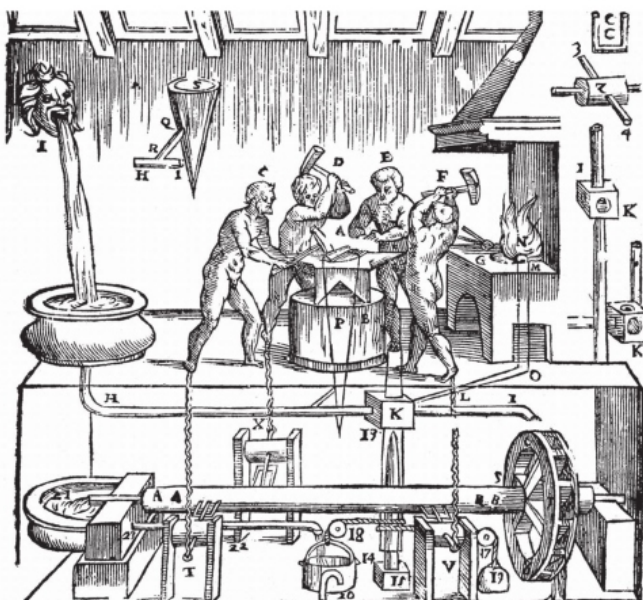
Perché l'Italia ha una tradizione così forte nella robotica?
Siamo sempre stati bravissimi a progettare macchine. E non penso solo a quelle di Leonardo. Nel Novecento abbiamo inventato macchinari industriali che sono usati in tutto il mondo. I robotici italiani hanno raccolto quell'eredità. E

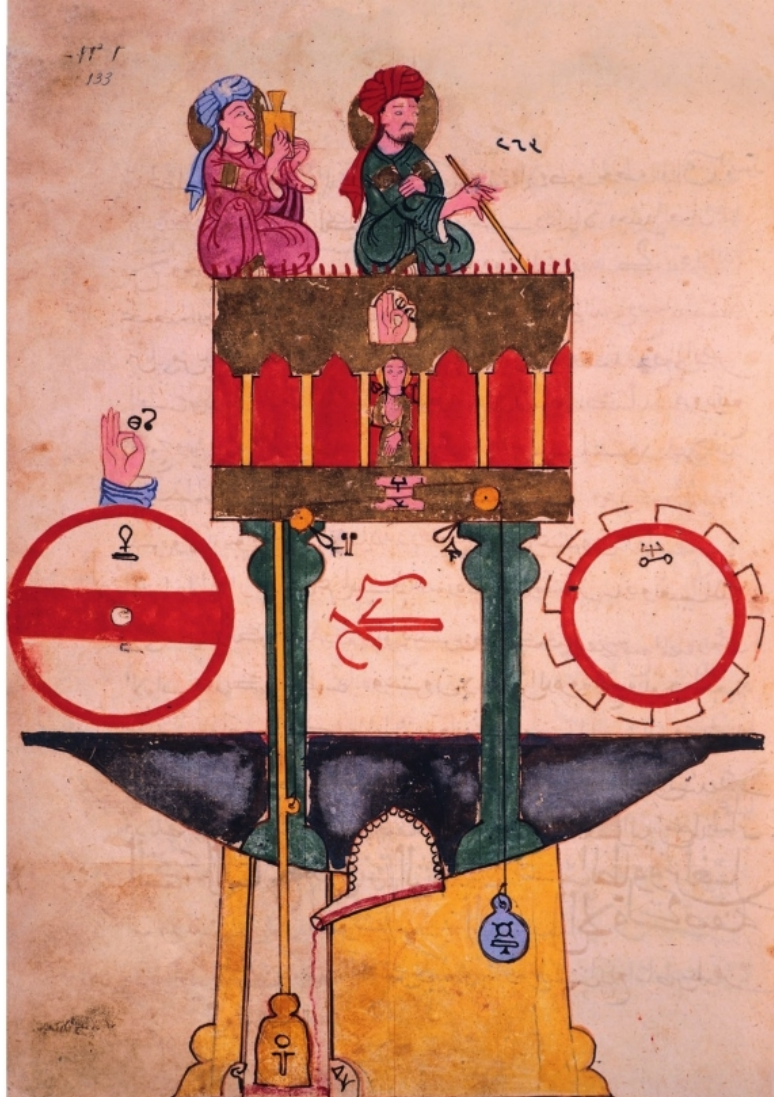
Riccardo Oldani

Il primo ha 2.000 anni

Le macchine capaci di avanzare, fermarsi e cambiare direzione sono un'invenzione degli antichi Greci, che gli orologiai hanno poi perfezionato. Anche grazie a Leonardo.

Sulla base dei disegni di Leonardo, gli studiosi del centro Leonardo3 sono riusciti a ricostruire un modello funzionante del carrello pensato per rappresentazioni teatrali: poteva girare, fermarsi e ripartire a seconda di come era programmato.

Le porte automatiche si aprono. Sul palco si rappresenta una tragedia greca, ma gli attori sono robot. Entra in scena il primo, avanza fin sul ciglio del palcoscenico e accenna un inchino davanti alla statua del dio. Dietro di lui ne arrivano altri e si muovono a ritmo di musica, in una danza sacra. Non siamo in un centro di ricerca giapponese. Siamo ad Alessandria d'Egitto, duemila anni fa. Sul palcoscenico si sono esibiti gli automi progettati da Erone, vero genio dell'antichità: realizzò la prima macchina a vapore, che usava nei templi per far aprire automaticamente le porte (la macchina a vapore fu reinventata da James Watt solo nel '700).

CORDE E GRANO. Erano robot? Per molti aspetti sì: erano dotati di movimento, anche se non ancora del tutto autonomo, ed erano "programmabili": il loro movimento poteva essere variato cambiando la posizione delle corde e delle carrucole che li azionavano. Si muovevano su ruote grazie a un motore ingegnoso: un peso tirava una corda, che metteva in moto una ruota dentata e con essa gli altri ingranaggi. «La storia dei robot è la storia della meccanica. E la meccanica è un'invenzione greca del V secolo a. C.» dice Mario Losano, docente emerito d'Informatica giuridica all'Università di Alessandria. «Non a caso, *automa* deriva dal greco *automatos,* "semovente"».
Erone fu un ingegnere meccanico di grande talento. Per regolare la velocità con cui si muovevano i suoi meccanismi, suggeriva di far cadere il peso in un cilindro riempito di grano, in modo che la discesa fosse più lenta e il moto impresso dalla corda all'ingranaggio ne venisse rallentato (il numero di chicchi poteva essere a sua volta regolato stringendo ▶

Sopra, uno schema seicentesco di un automa di Erone: i fabbri battevano grazie alla forza dell'acqua, che muoveva anche i complessi orologi-automa raffigurati a destra e qui sotto (ricostruzione del Centro Leonardo3).

Erano robot? Assolutamente sì: erano programmabili, come quelli odierni, e il loro programma poteva essere modificato

o allargando un foro). Ma soprattutto inventò l'albero a camme: il sistema per trasformare il moto rotatorio dell'ingranaggio mosso dal peso in moto alternato e così consentire ai suoi automi di alzare e abbassare le braccia, e quindi di percuotere qualcosa.

OROLOGI AD ACQUA. Il trattato sulla meccanica di Erone, scritto tra il I secolo a.C. e il III secolo d.C., e le scoperte di Filone di Bisanzio (200 a.C. circa), costruttore di fontane con automi che rappresentavano animali nell'atto di bere, furono dimenticati per un migliaio d'anni, in Occidente. Ma in Oriente, mescolati a tecnologie provenienti dall'India e dalla Cina, diedero frutti sorprendenti. Nell'VIII secolo i Banu Musà, tre fratelli di Baghdad, matematici e scienziati, illustrarono vari sistemi (sfruttando la meccanica dei fluidi) nel *Libro dei meccanismi ingegnosi*. A loro, 3 secoli dopo (1204-1206), si rifece Ibn Ismail Ibn al-Razzaz al-Jazari, autore del *Libro della conoscenza dei meccanismi ingegnosi*. Alcune delle sue macchine-orologio sono rimaste celebri: come quella in

cui due convitati tenevano in mano una bottiglia e un bicchiere ciascuno. A ogni ottavo di ora (ogni 7' e 30") uno dei due versava da bere al compagno, che svuotava il bicchiere portandoselo alla bocca e poi abbassava la testa per ringraziare.
Alcuni degli automi ricordano quelli descritti in un manoscritto redatto 2 secoli prima da un ingegnere andaluso di Cordova, Ibn Khalaf al-Muradi, il *Libro dei segreti*. Il testo descrive anche il funzionamento di automi. «Sono orologi molto complessi e alcuni di essi riproducono il moto dei pianeti. Altri sono "teatrini", cioè scatole meccaniche in cui i personaggi si muovono per raccontare una storia» sottolinea Mario Taddei, uno degli studiosi che hanno decifrato il manoscritto. «Gli orologi sono tutti idraulici, funzionano grazie a un galleggiante che affonda lentamente in un recipiente, trascinando tutti gli ingranaggi. Segnavano le ore con l'emissione di una pallina metallica o con i movimenti degli automi».

TIC TAC. Meraviglie tali non potevano lasciare indifferenti gli europei, che le conobbero grazie all'influenza araba in Spagna e in Sicilia. Secondo la leggenda, il filosofo Alberto Magno (1193-1280) avrebbe costruito una testa capace di parlare. Gli viene attribuita anche l'invenzione del termine *androide* per definire esseri viventi creati dall'uomo.
In Occidente, i primi automi comparvero però solo qualche decennio dopo: erano figurine mobili sui campanili delle chiese. Il gallo dell'orologio della cattedrale di Strasburgo, del 1352, per esempio, usciva ogni ora, alzava la testa, allargava le ali e cantava tre volte. La meccanica europea si rimise in moto grazie a un'invenzione: l'orologio meccanico a scappamento. Il meccanismo serve a rallentare il moto iniziale di un ingranaggio e a renderlo costante nel tempo: una lamella sbatte contro ogni dente dell'ingranaggio mentre ruota (è questo il tic tac dell'orologio) e così lo rallenta.
Inizialmente, gli orologi si muovevano grazie a un peso che cadeva imprimendo all'asse un moto rotatorio, come le macchine di Erone. Ma nel XV secolo fu inventata la molla: se è rinchiusa in un involucro circondato da una ruota dentata, può far muovere molti ingranaggi. Questo meccanismo fu usato anche per gli automi: bastava costruire molle e ingranaggi molto più grandi per spostare un peso maggiore. Inoltre, proprio nel 1500 cominciarono a circolare in Europa traduzioni delle opere di Erone e i manoscritti degli ingegneri arabi.

LEONARDO. Si cimentò in questo settore anche il genio di Leonardo: nel 1495 nel *Codice Atlantico* disseminò i progetti di soldati robot in armatura in grado di muovere la testa e le braccia e di spostarsi tra le merlature di un castello grazie a un sistema di carrucole. L'interno era costruito in legno, con elementi in pelle e in metallo. I robot potevano scuotere le alabarde alle quali erano appoggiati (per ragioni di stabilità) e così spaventare i nemici. Il progetto - come il carrello progettato per far muovere fantocci da usare nelle rappresentazioni teatrali - rimase sulla carta.
Fu invece costruito, e con enorme successo, il leone meccanico: un automa capace di muoversi secondo un percorso prestabilito. Il leone avanzava per qualche metro e poi apriva il petto, riversando una cascata di fiori sul pavimento. Il leone fu realizzato come omaggio a Francesco I, re di Francia, in occasione del suo ingresso a Lione nel 1515. Il motore era forse una grande molla interna, collegata con un ingranaggio alle ruote al centro del corpo; le zampe si muovevano con un sistema di corde, dando l'illusione della camminata. «Leonardo descrisse quasi tutti i meccanismi di base di un moderno robot» dice Mario Taddei della società Leonardo3, che ha ricostruito e messo in funzione queste macchine leonardesche. «Camme, molle, giunti car- ▶

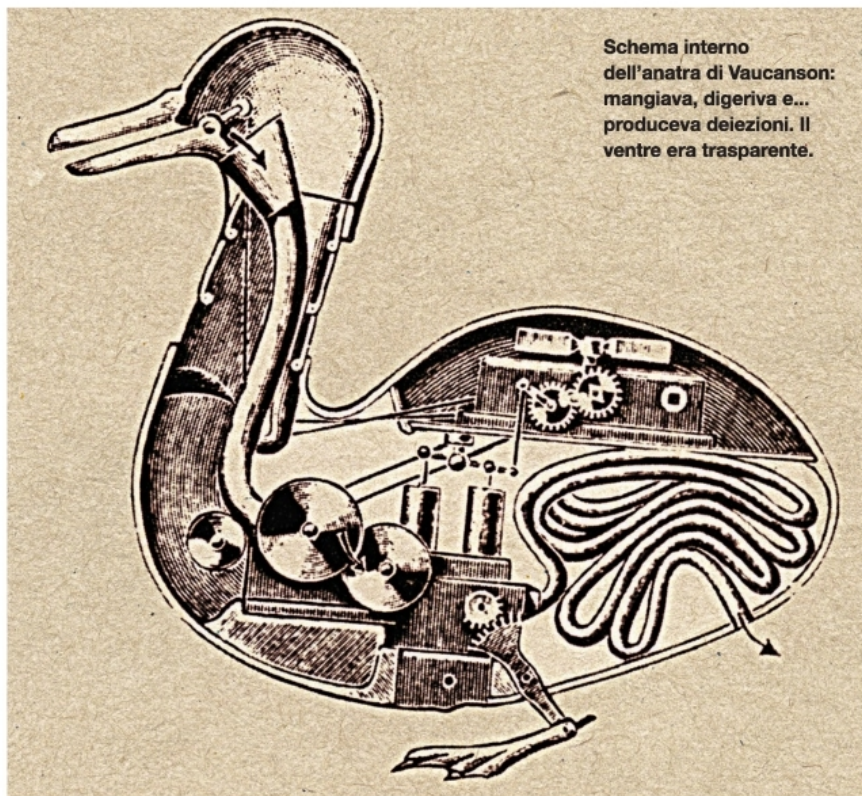
I robot-musei
Ecco dove vederli (anche in azione)

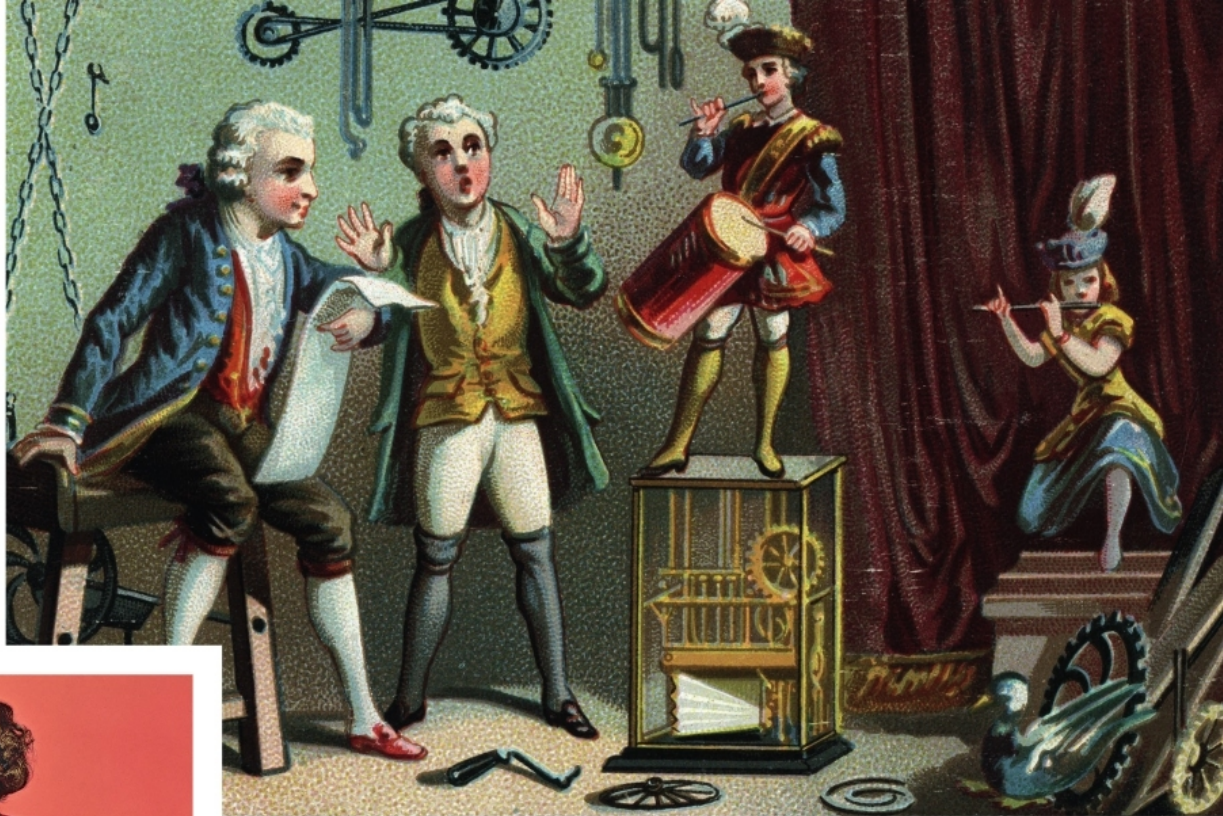
A NEUCHATEL (Svizzera) sono ancora funzionanti gli automi settecenteschi dei Droz: la suonatrice, lo scrivano e il disegnatore. Sono le star del Musée d'art e d'histoire della città.

A LONDRA, al British Museum, è conservato il galeone (restaurato) costruito da Hans Schlottheim nel 1585. Può ancora sparare.

A MADRID, al The Robot Museum, il più grande d'Europa, sono in mostra i robot contemporanei. Si può accarezzare il cagnolino Aibo e ammirare uno dei più piccoli automi del mondo, lungo 1 cm.

A TOKYO, al museo Miraikan, una intera sezione è dedicata ai robot più innovativi. C'è Asimo, che conversa, guida i turisti e gioca a calcio.

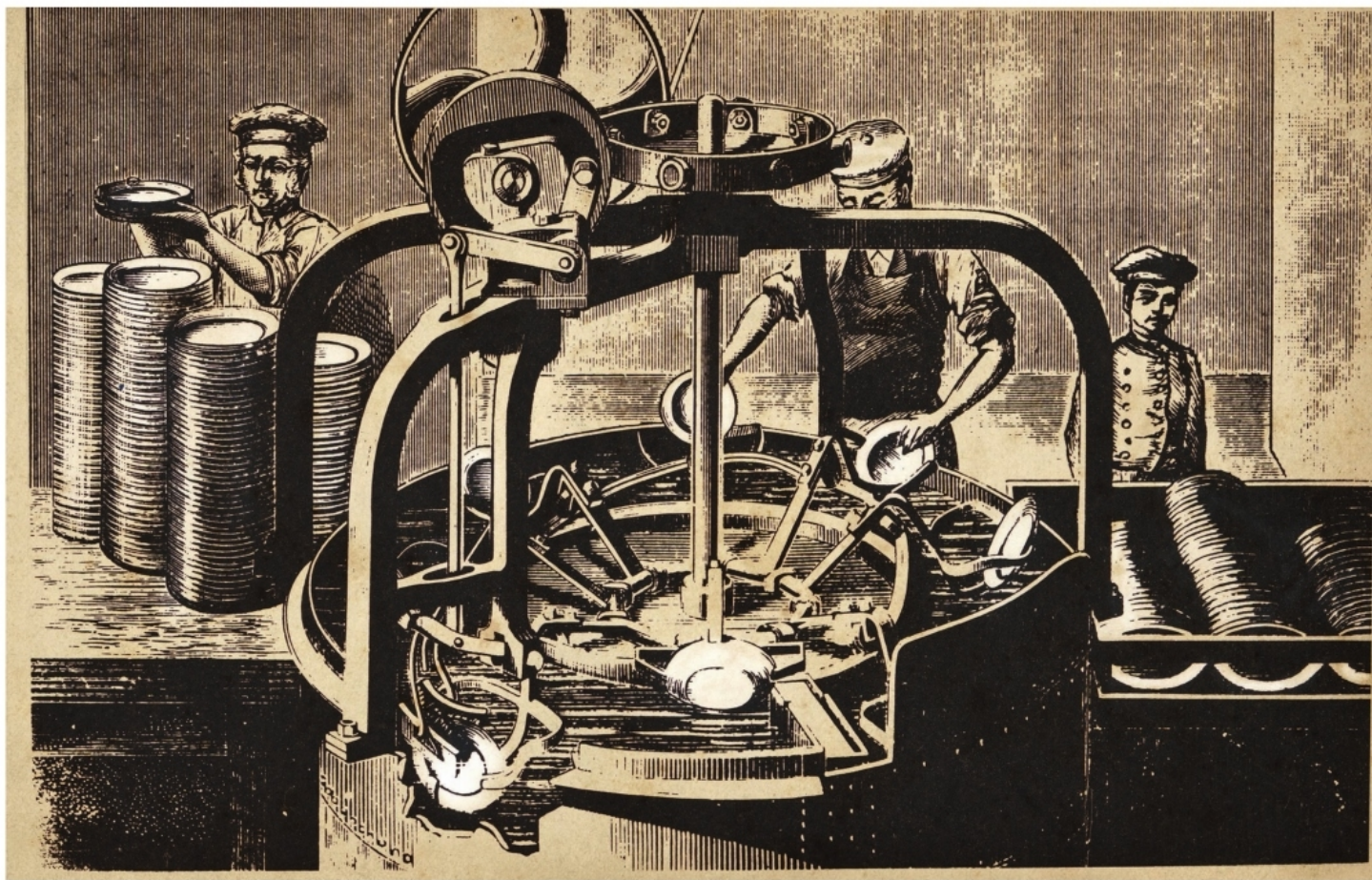
A SEUL, in Corea, c'è il Robot Museum, interamente dedicato alla loro storia.

Schema interno dell'anatra di Vaucanson: mangiava, digeriva e... produceva deiezioni. Il ventre era trasparente.

Gli automi di Vaucanson (a destra) e di Droz (sotto, lo scrivano) venivano portati in tournée per tutta l'Europa, per intrattenere e stupire il pubblico, disposto a pagare il biglietto per vederli in movimento.

La suonatrice, costruita nel 1773, è in grado di eseguire 5 diverse melodie su un piccolo clavicembalo: sposta le mani e pigia i tasti con le dita

danici, accorgimenti per migliorare la trasmissione del moto (come il differenziale rappresentato accanto al carrello *nelle immagini di apertura del servizio*) o cuscinetti a sfera per ridurre l'attrito.

GINGILLI PER LA CORTE. Nei 3 secoli successivi, l'arte di costruire automi restò abbinata a quella dell'orologeria, in Germania e poi in Svizzera. Questo artigianato faceva impazzire le corti di mezzo mondo. Celebri gli automi di Hans Schlottheim (1547-1625), che costruì una piccola nave con cannoni in grado di sparare a salve: i trombettieri appaiono sulla tolda e i marinai issano la vela, mentre la figuretta di Carlo V, sotto un baldacchino, muove lo scettro.
E nelle corti dei signori feudali del XVIII e XIX secolo si diffuse il robot portatore di tè (*cha-hakobi*). In legno, alto 35,5 cm, era dotato di un meccanismo a molla: iniziava a muoversi quando veniva appoggiata una tazza sul suo vassoio e poi si arrestava quando veniva tolta. Poggiando poi la tazza vuota sul vassoio, la bambola tornava al punto di partenza.
L'epoca d'oro degli automi fu però il 1700. Ne esistevano in grado di scrivere, fare capriole, danzare e suonare strumenti musicali grazie a meccanismi interni simili a quelli degli orologi. Celebri quelli di Jacques de Vaucanson (1709-82): il suo flautista si esibiva in spettacoli a pagamento. Costruì anche un'anatra capace di allungare il collo per beccare il grano, inghiottire e digerire, espellendo il grano sminuzzato da ingranaggi interni.

RESPIRA DAVVERO! Ancora più avanzate sono le creature di Pierre Jaquet-Droz e del figlio Henry-Louis, costruite alla fine

Il leone che accolse il re Francesco I a Lione fu forse il primo vero robot. Ricostruito da Leonardo3, è in mostra a Milano (piazza della Scala).

Lavapiatti "industriale" (1885): fu l'invenzione della catena di montaggio a diffondere l'uso dei robot.

del XVIII secolo: lo scrivano, il disegnatore e la suonatrice. Il primo è un bambino che con una penna d'oca riusciva a scrivere frasi su un foglio, mentre il disegnatore tracciava il profilo di Giorgio III d'Inghilterra. Ma la più sorprendente è la suonatrice: eseguiva 5 diverse melodie su un organetto che produceva il suono di un flauto grazie a un sistema di mantici. Muoveva le ciglia, alzava e abbassava il petto come per respirare e il busto seguiva lo spostamento di braccia e mani sulla tastiera. Il suono era prodotto dal movimento delle dita sui tasti.

Ma per il salto di qualità servivano due elementi: una fonte di energia in grado di durare e un sistema di programmazione più complesso di quello "da orologiai", per guidare i movimenti dell'automa. Il primo problema fu risolto dall'energia elettrica, che permetteva al robot di muoversi in uno spazio più ampio (la macchina a vapore costringeva a restare vicini alla fonte d'energia). La soluzione al secondo problema la trovò Charles Babbage, l'inventore del computer, a metà '800. Babbage dimostrò che anche una macchina poteva risolvere operazioni complesse, se venivano suddivise in una serie di passaggi semplici, e se la si dotava di una memoria capace di immagazzinare i risultati intermedi. All'inizio le istruzioni erano impartite alla macchina tramite le schede perforate, già usate per i telai automatici. Poi per codificare la sequenza di azioni della macchina fu impiegata la matematica binaria, ideata nel 1600 da Gottfried Leibniz. Sono calcoli che impiegano solo due cifre: lo 0 e l'1. Per rappresentarli si usavano i relè, che potevano fare solo due cose: aprire o chiudere un circuito. Nel 1945 le valvole sostituirono i relè, aprendo e chiudendo i circuiti tramite un flusso di elettroni (è quello che anche oggi fanno i transistor).

TARTARUGHE. Nel 1928, uno dei primi umanoidi fu esposto alla mostra del collegio degli Ingegneri di Londra. Era il robot Eric, inventato da William Richards: aveva un corpo in alluminio con 11 elettromagneti e un motore alimentato da corrente a 12 volt. Il robot poteva muovere le mani e la testa ed era controllato con telecomando. Lo stesso anno, anche il Giappone lanciò il suo primo robot: Gakutensoku, progettato dal biologo Makoto Nishimura. Poteva modificare l'espressione della faccia e muovere la testa e le mani tramite un meccanismo di pressione dell'aria. Nel 1939 la Westinghouse costruì Elektro: umanoide alto 2 metri e pesante 120 kg, poteva camminare con un comando vocale, diceva 700 parole (utilizzando un giradischi a 78 giri), fumava sigarette, gonfiava palloncini, spostava la testa e le braccia. Il corpo era costituito da ingranaggi in acciaio e pelle d'alluminio.

I primi robot autonomi furono creati dal britannico William Grey Walter nel 1948: erano Elmer ed Elsie, ribattezzati "tartarughe" per la loro forma e il movimento lento. Avevano 3 ruote, ed erano capaci di fototassi: si avvicinavano a una fonte luminosa dove c'era una stazione di ricarica quando avevano le batterie scariche. Il robot industriale nacque nel 1954: l'Unimate dell'americano George Devol, che vendette il primo esemplare alla General Motors nel 1960. Fu installato nel 1961 a Trenton, New Jersey: era un braccio meccanico che si muoveva grazie a sistemi idraulici. Il suo compito era prelevare le maniglie appena fuse da montare sulle automobili e immergerle in un liquido per raffreddarle. L'epoca dell'automazione era cominciata. E

Raffaella Procenzano

Possono somigliare all'uomo oppure no. Ma le differenze più rilevanti sono nelle prestazioni...

La grande famiglia dei robot

A cura di Riccardo Oldani

UMANOIDI

TEMPO LIBERO
Giocano con l'uomo o lo intrattengono

PER RICERCA

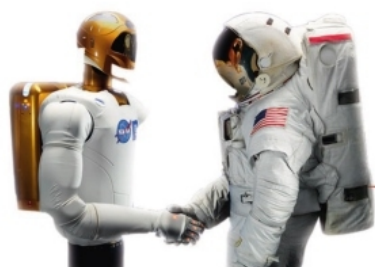
SOCIALI
Per studiare il rapporto uomo-macchina

DI SQUADRA
In grado di muoversi in team

MEDICINA/PSICOLOGIA
Per aiutare lo studio o la cura di malattie

"COMPLIANT"
Capaci di muoversi in modo efficiente come l'uomo

COGNITIVI
In grado di imparare cose nuove

ASTRONAUTI
Possono svolgere compiti nello spazio

INDUSTRIALI

A ISOLA
Lavorano in aree non accessibili all'uomo

IN AMBIENTE APERTO
Possono lavorare a contatto con l'uomo

DOMESTICI

PULITORI
Detergono la casa

GAME ROBOT
Robot per giocare

DI TELEPRESENZA
Consentono di essere presenti anche a distanza

ASSISTENTI
Aiutano anziani e malati

MEDICI

CHIRURGHI
Aiutano i medici in sala operatoria

PER RIABILITAZIONE
Aiutano gli interventi dei fisioterapisti

OSPEDALIERI
Svolgono alcuni lavori in strutture di cura (movimento dei letti, distribuzione di farmaci...)

PER ANALISI
Svolgono esami diagnostici

PROTESI ROBOTICHE
Sostituiscono parti del corpo umano

ESOSCHELETRI
Si indossano come armature

ROBOT

È una macchina in grado di svolgere un lavoro al posto dell'uomo. Può essere autonoma (in grado di agire da sola) o non autonoma (governata totalmente o parzialmente dall'uomo). Il termine *robot* deriva dal ceco *robota*, "lavoro pesante". Fu lanciato dallo scrittore ceco Karel Capek nel 1920, per il dramma teatrale *I robot universali di Rossum*: erano umanoidi organici, costruiti per lavorare come operai in una fabbrica.

NON UMANOIDI

DI SERVIZIO

PER USI CIVILI

SORVEGLIANZA
Per proteggere luoghi da intrusioni, fughe di gas, ecc.

PROTEZIONE CIVILE
Per operazioni di soccorso in caso di incendio, terremoto, alluvione

UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLES)
Oggetti volanti senza equipaggio: aerei, elicotteri, multirotore

ESOSCHELETRI

AUTO SENZA PILOTA

MILITARI

DA TRASPORTO

DA RICOGNIZIONE

ARTIFICIERI
Disattivano le bombe

SMINATORI
Disattivano le mine

AGRICOLI

LAVORI NEI CAMPI

MUNGITORI

TAGLIALEGNA

SPAZIALI

ESPLORATORI
Robot che ispezionano pianeti o satelliti

PER COMPITI PERICOLOSI

SUBACQUEI
Si muovono in ambienti marini e oceanici

MONITORAGGIO DI AMBIENTI TOSSICI O RADIOATTIVI

MINATORI
Per soccorrere i minatori o esplorare tratti pericolosi

MONITORAGGIO VULCANI
Per rilevamenti nei crateri

PER RICERCA SCIENTIFICA

BIOISPIRATI
Copiano gli animali

DI SCIAME
Hanno una intelligenza di gruppo come api, termiti, formiche

EVOLUTIVI
Robot virtuali, sanno modificarsi e svilupparsi

NANOROBOT
Di dimensioni micro o nanometriche

Missouri (Usa): una schiera di bracci robotici salda i telai dei Ford Transit.

Operai d'acciaio

Oggi i robot industriali possono lavorare vicino all'uomo e cambiare mansioni in pochi minuti. Cambiando anche il volto alle fabbriche.

Baxter ha due lunghissime braccia rosse d'acciaio e un volto sempre sorridente. Il viso è un monitor su cui appaiono gli occhi e una bocca che si piega in una smorfia triste solo in caso di malfunzionamento. Da quando fu presentato, 3 anni fa, dal suo inventore - Rodney Brooks, ex docente di robotica al MIT di Boston e fondatore della Rethink Robotics - Baxter è diventato un caso. Non tanto per ciò che è in grado di fare sulla catena di montaggio, quanto per il concetto di operaio-macchina che incarna: Baxter è il primo robot prodotto in serie capace di lavorare a fianco all'uomo, condividendo gli stessi ambienti. Fino a oggi i robot industriali, macchine velocissime e potenti - che se urtano un operaio possono ucciderlo - erano installati in celle chiuse, dove l'accesso è vietato.

Baxter costa circa 20.000 dollari, poco perfino rispetto alla manodopera asiatica, la meno pagata al mondo. Non si ammala, non deve andare in bagno, non sciopera. Secondo Brooks sarà la macchina che riporterà negli Stati Uniti tutto il lavoro che negli ultimi decenni è stato decentrato all'estero. Un mito o una speranza?

A CONTATTO. Baxter, comunque, non è solo. Sono in arrivo anche altri robot operai in grado di lavorare a contatto con le persone, di cui avvertono la vicinanza grazie a complessi sensori. Si sta quindi sempre più affermando il concetto di fabbrica robotica "aperta", in cui uomini e macchine cooperano in sicurezza.

Per arrivare a sviluppare macchine di questo tipo ci sono voluti quasi 70 anni. Spiega Arturo Baroncelli, presidente della IFR, la Federazione robotica internazionale e direttore della divisione robot di Comau, uno dei principali protagonisti mondiali del settore: «La storia dei robot industriali nasce negli Stati Uniti alla fine degli anni '50. Erano macchine ingombranti, azionate con sistemi idraulici, e molto limitate nei movimenti». Il primo robot industriale fu ▶

Grazie ai robot le fabbriche possono produrre su ordinazione, senza necessità di fare scorte di magazzino

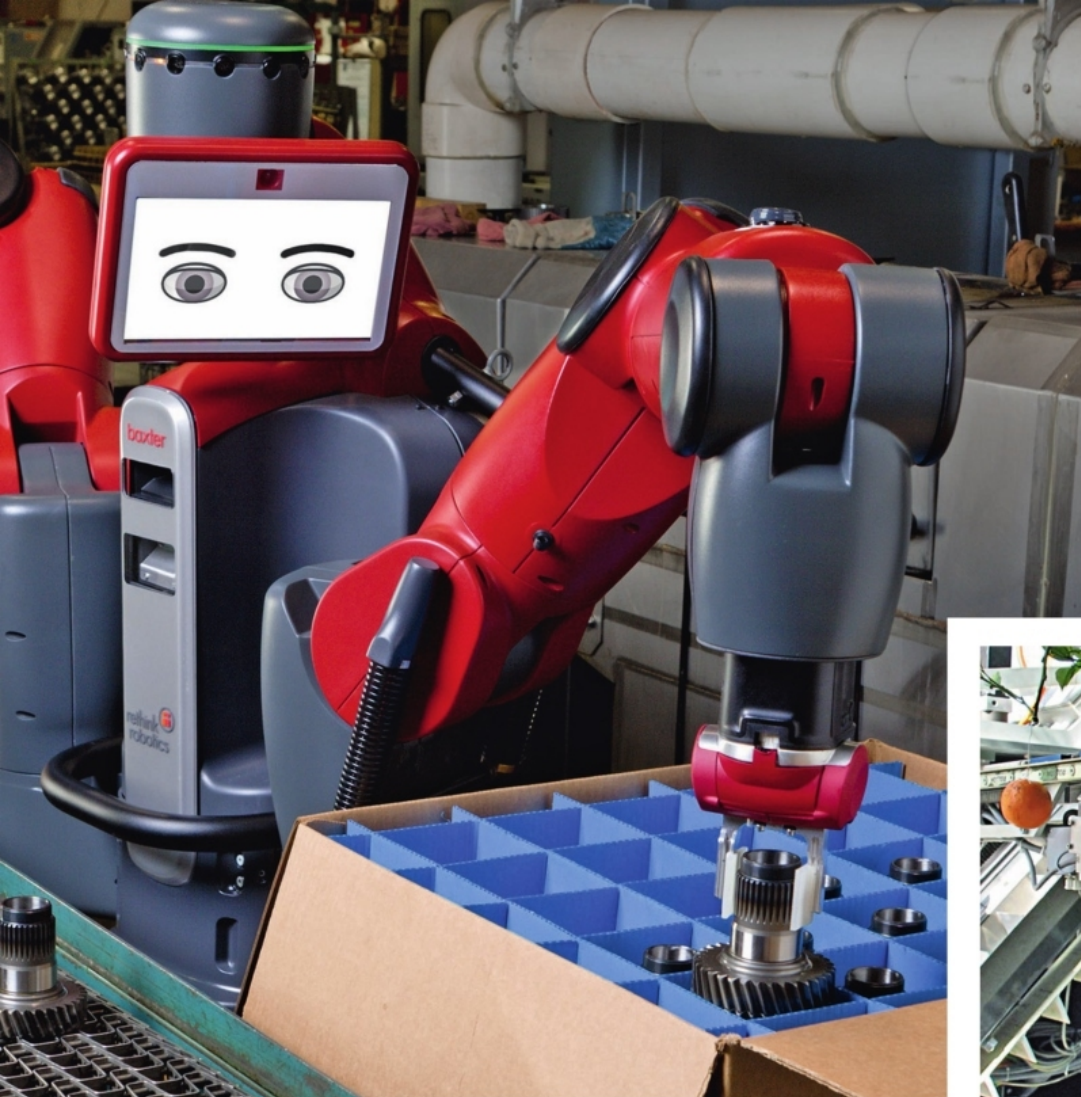
Il braccio Kuka Lightweight: per insegnargli una sequenza di mosse basta accompagnarlo.

lo Unimate, usato dalla General Motors dal 1961 (*v. cronologia tra 2 pagine*). Pochi potevano permetterselo e il suo uso rimase confinato a pochi complessi produttivi finché, osserva Baroncelli, «sono arrivati giapponesi, tedeschi e italiani a rivoluzionare l'idea di robot industriale. Questa trasformazione, avviata negli anni '70, è stata determinata da due fattori: l'introduzione dell'elettronica e l'avvento dei motori elettrici miniaturizzati. La prima ha consentito di automatizzare e programmare i movimenti e le funzioni dei robot, i secondi hanno permesso di muoverli in maniera più agile e con minor consumo di energia».

LIBERTÀ. Prima una macchina industriale era attivata da un solo motore esterno; nella nuova concezione era invece mossa da più attuatori elettrici, efficienti e leggeri, posizionati nei punti di snodo del robot e attivati solo quando necessario. Nacquero così i primi bracci robotici a due o tre assi di movimento, simili nei movimenti a un braccio umano e perciò definiti "antropomorfi". «Oggi - spiega ancora Baroncelli - i moderni robot industriali antropomorfi sono macchine leggere, velocissime e potenti, con 6 o 7 gradi di libertà, in grado di manipolare qualsiasi oggetto o compiere ogni movimento con estrema precisione».
Le fabbriche robotizzate usano numerosi robot antropomorfi, in grado di svolgere svariate funzioni. Se una volta ogni macchina faceva una sola operazione (saldare, verniciare o spostare pezzi), oggi un robot industriale può fare tutte queste cose insieme, semplicemente cambiando l'accessorio che "impugna", come farebbe un operaio afferrando ora il pennello ora il cacciavite.
Grazie a queste macchine è cambiato anche il modo di progettare le fabbriche. Fino a ieri le produzioni erano dedicate: per ogni nuovo modello, di auto o di elettrodomestico, veniva creata una linea su misura. Oggi si realizzano impianti flessibili, capaci di passare rapidamente dall'assemblaggio di un modello a un altro. Un esempio è la fabbrica californiana della Tesla, che produce auto elettriche: sforna 400 vetture al giorno ed è equipaggiata con 160 robot che lavorano con 3.000 operai. Impianti del genere possono produrre su ordinazione: il cliente sceglie l'auto in concessionaria con gli optional desiderati e la fabbrica ne programma la realizzazione su misura. Si riduce così la necessità di creare grandi scorte di magazzino: si produce solo ciò che si vende.

SCARPE. Anche in Italia abbiamo esempi simili. A Vigevano, l'Itia (Istituto di tecnologie industriali e automazione) del CNR ha progettato un calzaturificio in grado di produrre scarpe su misura usando sistemi automatizzati. Se domani ne vorrete un nuovo paio, lo potrete scegliere da catalogo indicando le misure del vostro piede, e vi arriverà a casa.
Un altro impianto pilota dell'Itia-CNR è a Milano ed è stato ideato per il *decomissioning*, cioè lo smantellamento degli apparecchi elettronici, dalle lavastoviglie ai computer. «In questo modo» spiega Tullio Tolio, direttore dell'istituto «si può recuperare tutto il materiale che contengono, dalle schede elettroniche ancora funzionanti ai fili di rame alle terre rare (preziosi elementi indispensabili nell'elettronica). Anche se gli apparecchi elettronici sono molto diversi tra loro, il nostro impianto è in grado di riconoscerli, processarli, smontarli, esaminarne le componenti e ripararle oppure recuperarne i materiali». Una fabbrica

di questo tipo può essere di importanza strategica. Oggi il recupero delle terre rare avviene secondo canali oscuri, che portano i rifiuti elettronici in Paesi come India o Cina, dove sono spesso bambini o personale sottopagato a occuparsene, senza protezioni dalle sostanze tossiche.

ORGANISMO. Oggi una fabbrica non è più un insieme di macchine messe in sequenza per svolgere un lavoro, ma un vero "organismo" robotico autosufficiente, che richiede anche un nuovo approccio nella progettazione. Perciò gli ingegneri industriali usano sofisticati software, in grado di modellare in 3D il futuro impianto e di animare i movimenti dei robot per verificare che non interferiscano tra loro, sfruttando al meglio tutti gli spazi e ottimizzando i tempi di lavorazione. Esistono esempi di isole di produzione attrezzate con 10-15 robot in grado di verniciare un'auto o di assemblarne gli interni in meno di un minuto.
Rispetto alla velocità supersonica di questi impianti robotizzati, Baxter è lentissimo e c'è chi dubita che robot del genere possano diffondersi nelle

Il robot Baxter, capace di lavorare vicino agli uomini in sicurezza. Sotto, il raccoglitore di arance OPR dell'Università di Catania.

Agricoltura: arrivano i robot mungitori e raccoglitori

L'automazione entra anche nei campi. L'applicazione più impressionante sono le fattorie robotizzate, in cui le vacche vengono pilotate verso postazioni di mungitura automatica che, con sistemi di guida laser, individuano le mammelle, le umettano con una soluzione detergente e le mungono delicatamente. Esistono numerosi produttori di questi sistemi, come la svedese DeLaval, le olandesi Lely e Boumatic. Negli Stati Uniti, dove le estensioni di allevamenti e colture sono enormi, sono già da tempo in uso droni in grado di verificare, con speciali telecamere a infrarossi, lo stato di salute delle colture e decidere se irrigarle o fare trattamenti con pesticidi. Possono anche tenere sotto controllo i capi di bestiame.
IN ITALIA, il Dipartimento di Ingegneria elettrica dell'Università di Catania, guidato dal professor Giovanni Muscato, ha creato l'OPR (Orange Picking Robot), per la raccolta automatizzata delle arance e sta sviluppando un sistema di tosatura dei prati governato da satellite, utile per grandi giardini o campi da golf. Negli Usa, la Blue River Technology produce robot per la coltura della lattuga: sanno individuare le erbacce ed estirparle senza danneggiare l'insalata. E Wall-Ye è un robottino alimentato a energia solare, inventato dal francese Christophe Millot, capace di potare le viti con precisione.

fabbriche di domani. È certo, però, che uomini e macchine lavoreranno sempre più vicini. Su questo tema ha lavorato intensamente Paolo Rocco, professore di Automatica al Politecnico di Milano: insieme ad altre università e imprese, tra cui la ABB, ha sviluppato il robot operaio umanoide Frida. Tra i sistemi testati su Frida, spiega «c'è un algoritmo in grado di interpretare le informazioni fornite dai sensori di movimento e da un sistema di visione artificiale, che registra il passaggio di tutti gli addetti. L'algoritmo è in grado di costruirsi un'esperienza e, quindi, di prevedere gli spostamenti delle persone con alto grado di precisione». In questo modo Frida sa ciò che fanno le persone nelle sue vicinanze e ne prevede i movimenti, regolando, di conseguenza, i propri. «Quando percepisce una persona» spiega Rocco «Frida adotta movimenti modellati su quelli umani e rallenta la velocità. Così è più facile capire che cosa farà la macchina». ▸

C'è un impianto in Italia che smantella gli apparecchi elettronici e ne ricicla i componenti

Robot saldano i telai dei Suv Macan nello stabilimento della Porsche a Lipsia (Germania).

Programmare queste macchine è sempre più facile: bastano pochi clic o comandi vocali

Frida ha anche un innovativo sistema di programmazione, per il quale non occorrono grandi conoscenze informatiche: le si può insegnare come eseguire un compito disegnando sul computer di bordo un diagramma di flusso, con i passi che la macchina deve compiere in sequenza ("afferra l'oggetto", "ruotalo", "mettilo in una scatola") o semplicemente dicendo al robot che cosa deve fare. Frida memorizza il movimento da compiere dopo una sola volta che l'ha eseguito. Ed è anche capace di correggersi per rendere più precisa l'esecuzione.

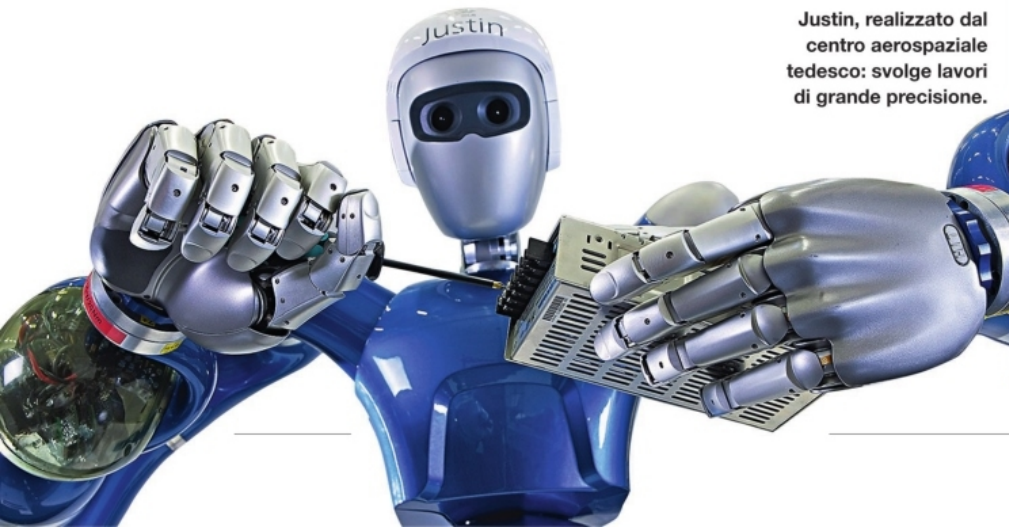
COLPETTI. Un passo ancora avanti rispetto a Frida è il Dual-Arm Robot di Epson. Dotato di due braccia e di un sofisticato sistema di visione, è capace di evitare contatti pericolosi con gli uomini. E, in più, può prendere decisioni autonome in base a quello che vede davanti a sé: cambia strumento di lavoro o gesti a seconda dei pezzi che gli vengono dati da lavorare.

Punta invece tutto sulla semplicità di programmazione un altro innovativo robot industriale, il Lightweight del gruppo tedesco Kuka, molto simile, nei movimenti e nelle proporzioni, a un braccio umano. Basta guidare il robot con la mano per "insegnargli" a svolgere un compito e lui è in grado di memorizzare il gesto e ripeterlo.

Assemblando tra loro vari Kuka Lightweight Robot, il DLR, il centro di ricerca aerospaziale tedesco, ha realizzato Justin, un robot umanoide in grado di eseguire compiti di estrema precisione, come riparazioni o lavori meccanici a bordo della Stazione spaziale internazionale.

Per addestrarlo, i tecnici del DLR lo hanno sottoposto a ogni tipo di prova, tra cui ballare, prendere al volo palle lanciategli da ogni direzione e persino farsi un tè, versando con precisione in un cucchiaio, con leggeri colpetti di dito, le foglie per l'infuso contenute in un barattolo. E

Riccardo Oldani

Justin, realizzato dal centro aerospaziale tedesco: svolge lavori di grande precisione.

Le tappe epocali dell'automazione

1959. George Devol e Joseph Engelberger (Usa) creano il primo robot industriale: pesa 2 t ed è programmato su tamburo magnetico. Si muove con un sistema idraulico e ha una precisione di 1/10.000 di pollice (2,5 cm). Dal 1961 lo usa la General Motors.

1973. La Kuka (Germania) introduce Famulus, il primo braccio robotico con 6 gradi di libertà. Hitachi (Giappone) inventa il primo robot dotato di sensori e di un sistema di visione artificiale per individuare e muovere gli oggetti. Serve a produrre e spostare pali di cemento.

1974. Debutta T3, "*the tomorrow tool*" (l'attrezzo del domani), il primo robot industriale controllato da un minicomputer. È progettato da Richard Hohn e prodotto dalla Cincinnati Milacron (Usa).

1975. L'Olivetti lancia Sigma: usa contemporaneamente due bracci meccanici per assemblare i prodotti.

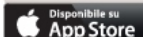
1981. Takeo Kanade della Carnegie Mellon University (Usa) sviluppa il primo braccio robotico "direct drive": i motori sono nei giunti, a diretto contatto con le parti in movimento, senza tiranti né pulegge.

1999. La Reis (Germania) introduce il primo sistema di guida laser integrato nei bracci robotici. Fino ad allora i sistemi di guida laser erano esterni ai robot.

2006. L'italiana Comau introduce per prima un sistema wireless di comunicazione tra l'uomo e il robot, usato sia per scaricare o trasferire dati sia per programmare le macchine. Non servono più sistemi cablati per questo scopo.

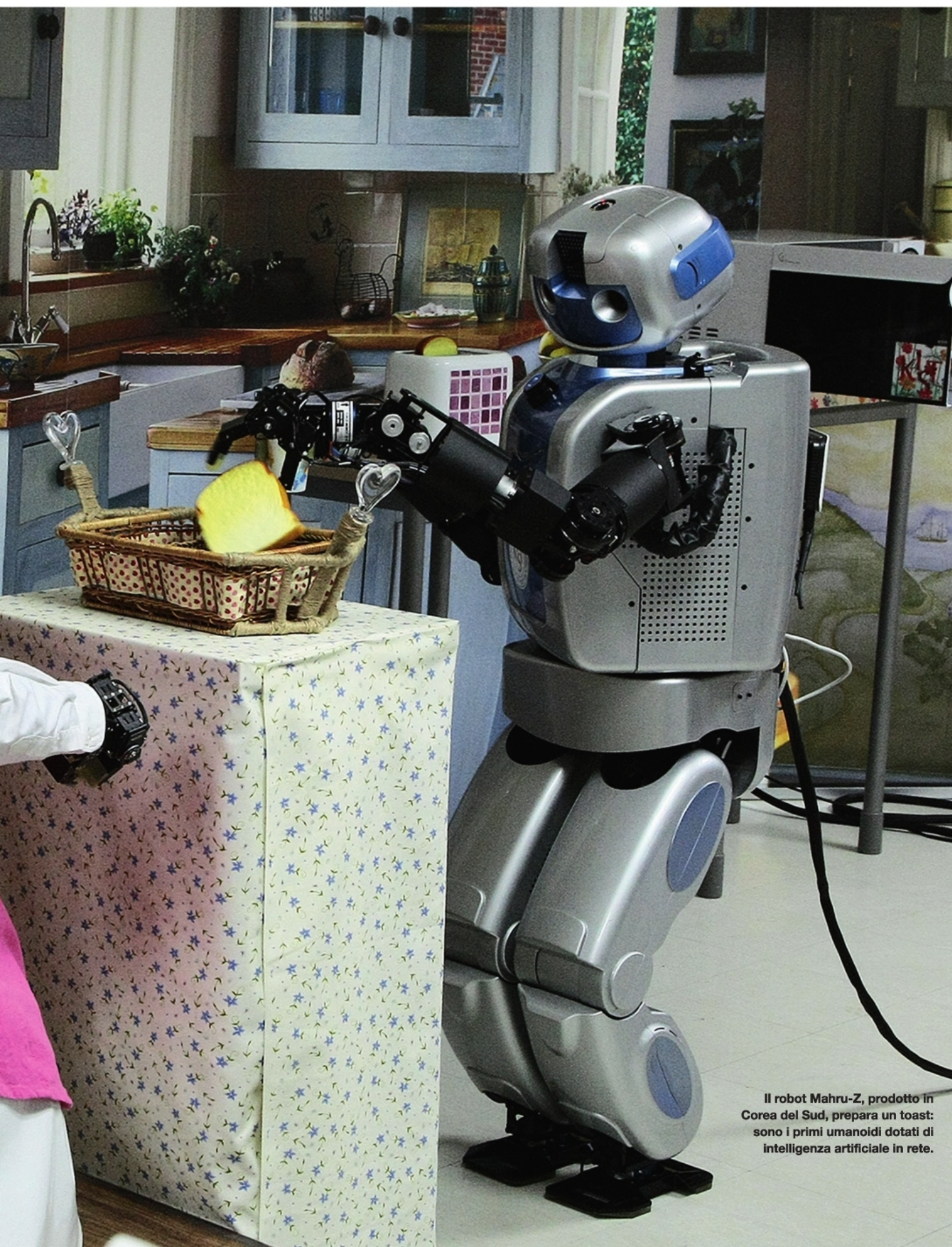
2012. L'americana Rethink Robotics presenta il robot operaio umanoide Baxter, pensato per lavorare a stretto contato con l'uomo. La configurazione base costa 22.000 dollari. I punti di forza sono la multifunzionalità e l'estrema semplicità di programmazione.

DISPONIBILE SU
Google play

Domestici col chip

Puliscono la casa e consentono la telepresenza. Ma per il robot maggiordomo bisogna attendere.

Sono già in molte case, anche la nostra probabilmente, per quanto non ce ne accorgiamo. Non sono robot maggiordomi, ma oggetti molto più semplici: lavatrici in grado di pesare il carico, individuare il tipo di tessuto e dosare il detersivo o, ancora, frigoriferi capaci di leggere le etichette dei prodotti e segnalare sugli smartphone dei proprietari che il latte sta scadendo. Macchine con livelli ampi o limitati di autonomia, ma già in grado di sostituirsi a noi nello svolgere compiti di ogni genere.

L'industria robotica guarda alla casa con grande attenzione, alla ricerca della "killer application", cioè di quel prodotto di cui si senta la necessità in tutte le abitazioni, come è accaduto per il televisore o il frigo. Qualcosa di indispensabile, che possa dar vita a una produzione su larga scala e rivitalizzare l'industria. Negli anni Novanta si preconizzava per i robot un futuro paragonabile a quello dell'auto: il mercato dei robot, si pensava, avrebbe presto preso il posto di quello delle automobili. Le cose, però, non sono andate così. Perlomeno, non ancora.

UMANOIDI O NO? Secondo alcuni esperti, la spiegazione sta nel fatto che non si è seguita la strada giusta. I primi prodotti pensati per uso domestico nati in Giappone avevano sembianze umane, ma progettare robot ▶

Il robot Mahru-Z, prodotto in Corea del Sud, prepara un toast: sono i primi umanoidi dotati di intelligenza artificiale in rete.

Pisa: una casa per testare i robot

Ai piedi del borgo antico di Peccioli, arroccato su una collina nelle campagne pisane, la Casa Domotica è un laboratorio del dipartimento di Biorobotica della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, dove vengono sviluppati e testati robot per uso domestico. La casa è completamente cablata e dotata di sensori, per seguire i movimenti degli automi e valutarne punti di forza e difetti. È un'abitazione completamente arredata e funzionante, completa di tutti gli ambienti, dalla cucina al soggiorno, dal bagno alla camera da letto. Qui affluiscono, secondo turni concordati con i giovani ricercatori dell'istituto di ricerca, volontari che abitano nel paese, perlopiù pensionati, che contribuiscono attivamente allo sviluppo dei robot fornendo impressioni, consigli e valutazioni di cui si tiene conto per migliorare le prestazioni dei robot e la loro usabilità.

Sopra, la consegna della spazzatura al robot DustCart a Peccioli (Pi). A destra, Mirra 350 di iRobot: pulisce la piscina da solo.

umanoidi è molto difficile, soprattutto per la camminata su due gambe. Ecco perché i robot domestici hanno seguito altre strade. L'esempio più lampante sono i robot aspirapolvere, di cui oggi esistono decine di modelli per tutte le tasche, capaci anche di lavare i pavimenti o, nelle nuove varianti, di pulire i vetri o falciare l'erba del giardino.

ROTELLE. I primi a sviluppare robot di questo genere sono stati gli americani di iRobot, una società nata per iniziativa di un gruppo di robotici del MIT, il Massachusetts Institute of Technology di Boston, negli Usa. Colin Angle, uno dei fondatori, spiega: «Per un robot aspirapolvere abbiamo capito subito che l'impostazione umanoide non aveva senso. Troppo complesso creare una macchina simile a un uomo, in grado di muoversi in una casa senza urtare nulla, arrivare bene negli angoli e anche sotto i letti. La soluzione migliore era un oggetto a rotelle, alto non più di 10-15 cm per infilarsi dovunque e dotato di un sistema di navigazione che gli consenta di non passare due volte sullo stesso posto ma anche di coprire tutta la superficie della casa». Il grosso del lavoro, al di là dei sistemi di spazzole e di aspirazione, è stato dedicato a sviluppare un insieme di sensori e software in grado di portare il robot in giro per la casa, impedirgli di cadere dalle scale o di far inciampare le persone, riconoscere gli ostacoli e muoversi in un ambiente "destrutturato" come quello domestico, cioè che può cambiare in ogni momento, perché qualcuno sposta una sedia o lascia un giocattolo per terra.

> In Toscana si sperimentano robot che arrivano in casa a prendere l'immondizia. Poi la vanno a smaltire

TELEPRESENZA. Sistemi di navigazione di questo tipo sono impiegati anche per i robot di telepresenza. Consistono in una base su ruote, con una struttura alta 1,30-1,50 m a seconda dei modelli, e in un monitor (o un tablet) posto in cima, oltre a una nutrita serie di sensori e a una videocamera incorporata. Il robot di telepresenza è spostato a distanza, e consente a una persona in viaggio di muoversi, attraverso la macchina, dentro la propria casa o l'ufficio per controllare la situazione e parlare con parenti o colleghi. Chi lo comanda usa la videocamera e il microfono del proprio portatile, attraverso cui impartisce gli ordini al robot, per mostrare il proprio viso e far sentire la propria voce. È una sorta di avatar. Robot di telepresenza sono usati già per l'assistenza agli anziani o da manager in viaggio, con costi dai 1.500 € agli oltre 10.000 € dei modelli professionali.

PORTIERE. Uno dei più importanti centri di sviluppo di robot domestici del mondo è in Italia, a Peccioli (Pisa), dove dal 1995 il Comune si è accordato con la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa per fare di questo paese un laboratorio dove testare con i 5 mila abitanti i nuovi robot. Una popolazione con molti ultra60enni, che forniscono spunti all'istituto pisano per nuovi automi in grado di aiutarli nelle piccole faccende quotidiane. Uno dei

Il celebre Roomba, robot aspirapolvere: in 12 anni ne sono stati venduti più di 10 milioni in tutto il mondo.

progetti sviluppati a Peccioli ha portato, nel 2010, a testare per 2 mesi due robot spazzini, DustBot e DustCart. Basta fare una telefonata e il robot si presenta sotto casa, raccoglie dalle persone la spazzatura e la porta a destinazione praticando correttamente la differenziata.
«Partendo da questo progetto» spiega Paolo Dario, direttore dell'Istituto di biorobotica della Scuola Superiore Sant'Anna «abbiamo poi concepito l'idea di robot che potessero anche entrare nelle case. È nato così il progetto Robot-Era». Consiste in tre automi, uno che si muove all'esterno, uno che fa da portiere del condominio, e uno che sta dentro casa a fianco delle persone. I tre sembrano innocui pupazzi, studiati per non creare apprensione negli utenti. Finanziato con 8,7 milioni di €, di cui 6,4 della Commissione europea e il resto da partner privati, il progetto contempla anche la collaborazione dell'università svedese di Örebro «ma - sottolinea Dario - abbiamo voluto che nel nostro Paese restino gran parte dei risultati».

SPAZZATURA. Il tris di robot è in fase di test nella Casa Domotica di Peccioli (*v. riquadro sopra*). Dei tre robot, quello "domestico", continua Dario, «è una sorta di smartphone, cioè in grado di comunicare e darci ogni tipo di informazione, ma anche di muoversi e di compiere azioni, grazie alle sue braccia». È un personal robot, in grado di assistere le persone in tutto: ricorda quando prendere le medicine, porta un bicchiere d'acqua, va a ritirare la spesa alla porta o telefona ai familiari. Una sorta di robot di telepresenza con molte più funzioni.
Gli altri due robot, il "portiere" e quello esterno, creano una catena in grado di portare oggetti dentro o fuori dall'abitazione, passandoseli tra di loro. Se c'è da buttare la spazzatura, il robot domestico porta il sacco alla porta d'ingresso, il "portiere" lo ritira, prende l'ascensore, scende, arriva al portone del palazzo e consegna il tutto al robot esterno che va al cassonetto. Al contrario, il robot esterno, avvertito telefonicamente da quello domestico, può fare la spesa o ritirare le medicine, passarle al "portiere" che a sua volta salirà dal destinatario per consegnarle. Il tutto in modo automatico.

Riccardo Oldani

ESPLORATORI E SALVATORI

Si avventurano negli abissi oceanici, nel sistema solare e sui vulcani. E oggi sono in grado di portare soccorso ai dispersi anche in zone altrimenti irraggiungibili.

Tecnici della Nasa stanno testando nel deserto della California i nuovi rover per l'esplorazione di Marte.

Il robot Grover della Nasa: alimentato da pannelli solari, monta un radar che esamina i livelli dei ghiacci in Groenlandia.

I robot esploratori hanno esordito nella corsa allo spazio di Usa e Urss durante la Guerra fredda. Oggi si usano in aree a rischio, come la centrale nucleare di Fukushima

Vive nell'appartamento più panoramico e più pericoloso, con temperature esterne che variano da +100 a -170 °C e alti livelli di raggi cosmici. Ma Robonaut 2 non ci fa caso: è il primo robot umanoide ad abitare lo spazio e ad aiutare gli astronauti nella manutenzione della Stazione spaziale internazionale (ISS). Sviluppato da Nasa e General Motors, non ha le gambe, ma ha mani in grado di impugnare utensili con velocità e precisione maggiori di quelle umane. «Gli arti inferiori, snodabili, sono sulla ISS» racconta Daniel Huot, della Nasa. «Entro fine anno saranno montati e il robot farà missioni extra-veicolari al posto degli uomini».
Robonaut 2 è l'ultimo di una lunga serie di robot esploratori e salvatori, la cui storia risale al periodo della Guerra fredda e della corsa allo spazio tra Usa e Urss. Nati per affermare la supremazia militare e tecnologica delle due superpotenze, negli anni sono stati perfezionati per andare alla scoperta del cosmo. Tanto che oggi abbiamo robot in grado di esplorare altri pianeti, avventurarsi nei fondali sottomarini, sorvolare montagne, entrare nelle centrali nucleari.

IDROCARBURI. Il Lunokhod 1, robot russo su ruote, atterrò sulla Luna nel 1970 per fare analisi del suolo comandato da terra. «Lo spazio è ancora un ambiente proibitivo per l'uomo» spiega Wolfgang Fink, fondatore del Visual and Autono-

Sopra, il robot usato dagli archeologi per esplorare i cunicoli del tempio del dio Quetzalcoatl in Messico: ha scoperto tre passaggi segreti di cui si ignorava l'esistenza.

Sotto, il robot granchio dell'Istituto di oceanografia della Corea, Crabster CR200. Grazie alle 6 zampe, riesce a operare anche in acque agitate. Esplora i fondali fino a 200 m.

mous Exploration Systems Research Lab del Caltech, negli Usa. «Alcuni corpi planetari sono troppo freddi, altri troppo acidi: per questo i robot sono insostituibili». Lo dimostra Opportunity, il rover (robot cingolato o su ruote) che da 10 anni girovaga su Marte, inviando sulla Terra informazioni preziose.

Ora Fink è al lavoro su Tex II, un robot dotato di telecamere, sonar e radar per la ricerca di ostacoli sulla superficie dei fluidi, e capace di analizzare in loco i campioni raccolti. La sua sfida è inaugurare una nuova era della robotica spaziale: l'analisi dei liquidi sugli altri pianeti, come i laghi di idrocarburi di Titano.

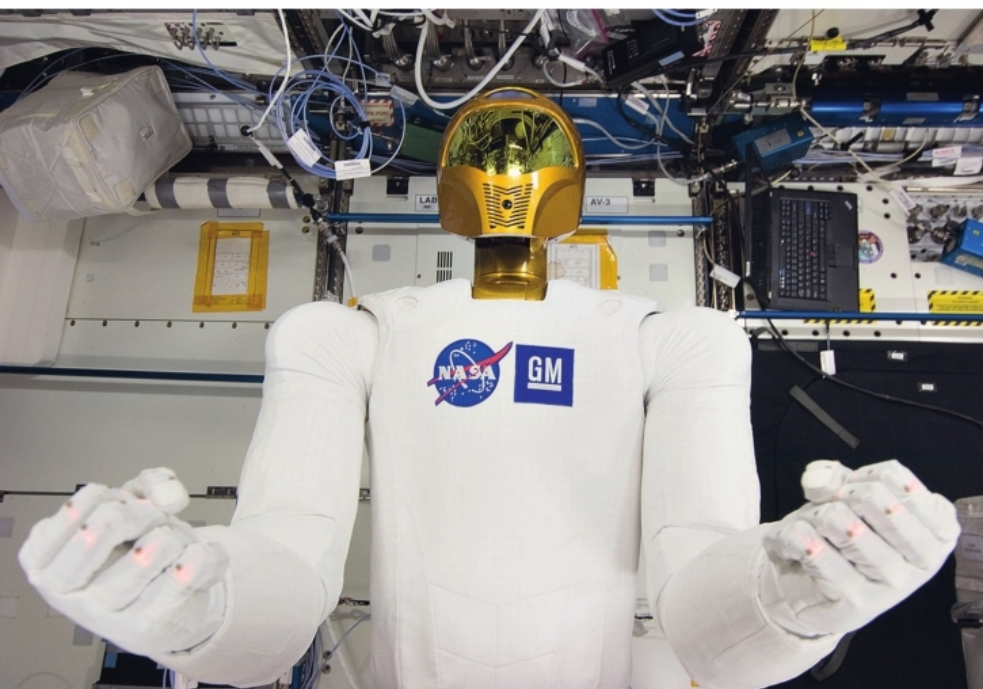
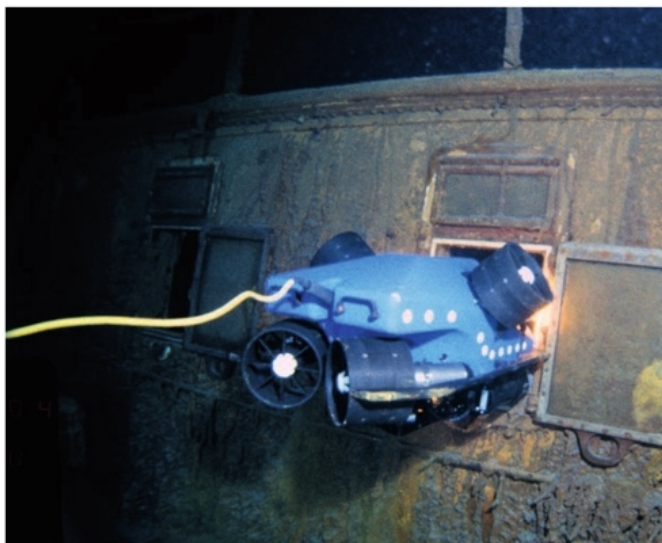
Ma non sono gli unici "lavori sporchi" a cui sono destinati i robot. A volte sono inviati a viaggiare negli abissi degli oceani o... nel tempo. È quanto ha fatto Tlaloc II, un mini-robot cingolato di 90 cm, dotato di videocamera e braccio meccanico per rimuovere gli ostacoli. Negli angusti tunnel sotterranei del tempio del dio Quetzalcoatl a Teotihuacan, in Messico, ha scoperto tre passaggi segreti di cui gli archeologi non sospettavano l'esistenza.

«E senza robot non saremmo mai entrati nel Titanic» racconta Cherie Winner, ricercatrice al Woods Hole Oceanographic Institution (Whoi) del Massachusetts, uno dei centri di ricerca più importanti al mondo. Nel 1986 il Whoi ha mandato il piccolo robot sottomarino Jason Jr. nel relitto posato sul fondo, a 3.787 metri.

«Si è spinto fin dentro le cabine» racconta entusiasta «e ci ha permesso di vedere le scale, i mobili , i lampadari... È stato incredibile!». Nel 2009, il suo collega Jason ha compiuto un'altra impresa mai realizzata: filmare l'eruzione di un vulcano sottomarino e prelevare campioni di lava. Ora la Winner è al lavoro su NUI (Nereid Under Ice), un robot sottomarino in grado di esplorare abissi anche sotto la calotta artica, fino a 2.500 m di profondità. Un filone di ricerca nato negli anni '50, quando la Marina statunitense ebbe la necessità di recuperare molti ordigni inesplosi negli oceani durante le esercitazioni nella Guerra fredda.

ATTENTATI. Se raggiungere mete fin nello spazio è compito dei robot, tanto più ▶

L'idea dei robot di soccorso è nata dopo l'attentato a Oklahoma City del 1995: primo impiego nel 2001, nelle Torri Gemelle

Sopra, il robot PakBot apre una porta durante un'ispezione alla centrale nucleare di Fukushima, nel 2011. A destra, il mini robot Jason Jr ispeziona una cabina del relitto del Titanic.

Robonaut 2: assiste l'equipaggio della Stazione spaziale internazionale. Solleva fino a 18 kg di peso e muove le braccia e le mani con grande abilità, grazie a 350 sensori.

lo è affrontare le situazioni ad alto rischio per l'uomo. «I robot di salvataggio sono il futuro» racconta Claudio Semini, ricercatore dell'IIT di Genova, «non solo per le valutazioni tecniche che compiono sul posto ma, soprattutto, perché non mettono a rischio vite umane».
Fu dopo la bomba di Oklahoma City del 1995, quando morirono 168 persone, che prese corpo l'idea di un automa capace di portare in salvo esseri umani o, almeno, di localizzare i dispersi. Le università americane cominciarono a studiare robot capaci di muoversi tra le macerie, rimuovere ostacoli, riprendere immagini e captare anche il più flebile segno di vita. La loro consacrazione avvenne l'11 settembre 2001 quando, a poche ore dal crollo delle Torri, i rover del Center for Robot-Assisted Search and Rescue, il principale centro per la robotica di soccorso al mondo, entrarono in azione tra le macerie.

Un tecnico del Centro per la ricerca sui vulcani fa decollare un drone per monitorare l'attività del vulcano Sinabung, a Sumatra (Indonesia).

Oggi i *disaster-robot* hanno funzioni molto specifiche. Quince, del nipponico Chiba Institute of Technology, per esempio, è balzato agli onori della cronaca nel 2011 per essere entrato nella centrale nucleare di Fukushima dopo il terremoto: ha misurato le radiazioni e creato una mappa dei punti più pericolosi.
Lo straordinario FireRob della croata Dok-Ing, invece, è un camion pompiere UGV (Unmanned Ground Vehicle, veicolo da terra senza pilota). Può resistere a una temperatura di 1.000 °C per 25 minuti e il suo sistema video, composto da 5 telecamere impermeabili e da una termica, consente a un operatore di gestire in remoto il robot e fargli abbattere pareti, spostare auto e domare le fiamme sparando acqua o schiuma.

PESCI E MULI. «La robotica di soccorso è una rivoluzione» dice Bruno Siciliano, direttore del Prisma Lab dell'Università Federico II di Napoli. Il suo team è uno dei partner del progetto Sherpa, ideato dall'università di Bologna, con il Club Alpino italiano. «Il programma» spiega Vincenzo Lippiello, responsabile dei robot volanti al Prisma Lab «prevede che i rover trasportino le attrezzature pesanti utili alle attività di ricerca e soccorso in alta montagna mentre i droni, con telecamere termiche e sistemi di ricerca a radiofrequenza, sorvolano la zona dell'incidente alla ricerca dei dispersi».
Negli ultimi anni la robotica di soccorso ha fatto passi avanti anche grazie alla bio-robotica. L'osservazione degli animali, infatti, ha aperto la strada a creature dalle abilità sorprendenti, come il banco di pesci-robot Co.Co.Ro (Collective Cognitive Robots) del Sant'Anna di Pisa che, lavorando in gruppo, scoprono le vittime di naufragi. E grazie a sensori ambientali e chimici potranno monitorare la salute dei mari.
O anche HyQ, un robot simile a un mulo: HyQ ha 4 zampe, cammina su terreni sconnessi e rocciosi, sale i gradini, salta, si solleva sulle zampe posteriori, scavalca gli ostacoli e corre a 2 metri al secondo (7 km/h). «Capre, gatti e orsi sono molto più bravi di noi ad arrampicarsi: un robot che li imita può affrontare meglio salite e dirupi» spiega Claudio Semini, responsabile del progetto. Il robot potrà fare operazioni di ricerca e salvataggio di dispersi, ispezioni in aree pericolose.
Non ha nome, invece, il robot artigianale che in aprile ha salvato la vita a un bimbo di 3 anni in un villaggio vicino a Tirunelveli, in India. Il piccolo era caduto in uno dei pozzi della zona. Lo ha salvato un robot costruito da un 43enne del luogo. Dotato di una telecamera notturna e un braccio meccanico telecomandato, è riuscito a localizzare il bambino e a riportarlo in superficie. E

Francesca Tarissi

Un drone lanciato in un'esercitazione della Marina Usa. Più a destra, un prototipo della tuta Talos (Tactical Assault Light Operator Suit), corazza protettiva ora allo studio negli Stati Uniti.

In avanscoperta. Il robot XM1216 di IRobot è pensato per missioni di fanteria: dotato di videocamera termica, può individuare nemici anche al buio o attraverso fumi e nebbia.

Macchine da guerra

I robot militari hanno una lunga storia: sono il banco di prova dell'innovazione, per essere usati in situazioni estreme.

Se i robot sono destinati a fare i "lavori sporchi" al posto dell'uomo, cosa c'è di più sporco della guerra? Non a caso, i robot per uso militare sono apparsi già intorno al 1940, circa 20 anni prima di quelli per uso civile.

Tra i primi, il Goliath, usato dall'esercito tedesco nella 2ª Guerra mondiale: era un piccolo cingolato filoguidato, lungo 1,60 m e alto 60 cm. Corazzato e imbottito con un centinaio di kg di esplosivo, poteva essere spinto a 500 metri di distanza per aprire varchi nei campi minati. Tra il 1942 e il 1945 ne furono prodotti 10.000 esemplari in due modelli, uno diesel e l'altro con batterie (con solo 8 minuti di autonomia). Era un mezzo primitivo ma simile, come concezione, ai robot antibomba usati oggi. Costituiti da uno scafo cingolato, montano telecamere, sensori e bracci meccanici che consentono agli artificieri, posizionati al sicuro, di individuare ordigni e disinnescarli. Il sistema ha avuto un momento di gloria grazie al film *The Hurt Locker*, dedicato agli artificieri Usa che lavoravano in Iraq: nel 2010 ha vinto 6 premi Oscar.

Ma i Goliath non furono i primi robot da guerra. I russi, negli anni ▶

Sono allo studio imbarcazioni capaci di navigare in totale autonomia per il pattugliamento dei mari

Trenta, avevano sviluppato sofisticati carri armati radioguidati, impiegati nel 1939 nella guerra russo-finlandese. Li chiamavano *teletank* ed erano guidati fino a una distanza di 1.500 m da un carro comando, mediante una plancia con una ventina di pulsanti, ognuno dei quali corrispondeva a un'azione. Armati con lanciafiamme, mitragliatrici e cannone, furono usati per colpire fortini e bunker.

LICENZA DI UCCIDERE? Il primo drone militare della storia, il Radioplane OQ-2, fu inventato negli anni Trenta, negli Stati Uniti, dall'industriale Reginald Denny. Era un velivolo radiocomandato, usato come bersaglio per addestrare gli addetti alle batterie antiaeree. Ne furono prodotti 15.000 in un impianto alle porte di Los Angeles dove lavorava come operaia Norma Jeane Mortenson, poi divenuta celebre come Marilyn Monroe.

I droni militari di oggi sono equipaggiati con sistemi video ad alta definizione e a infrarossi, radio e radar allo scopo di raccogliere immagini, sorvegliare movimenti nello spazio aereo e interferire con i sistemi nemici di difesa o di puntamento dei missili.
Uno tra i primi droni di questo tipo, il Tadiran Mastiff, fu sviluppato da Israele dopo la guerra dello Yom Kippur, del 1973, quando i sistemi missilistici terra-aria egiziani e siriani causarono gravi danni agli aerei da caccia israeliani. Il Mastiff aveva un raggio d'azione di 30-50 km e fu il primo drone a offrire un sistema di sorveglianza in tempo reale.

INVISIBILI. Oggi i più moderni droni sono aviogetti a lunga autonomia. Come il Male, progetto europeo a cui partecipa anche l'italiana Alenia, insieme a Airbus e Dassault Aviation, che dovrebbero realizzare entro il 2020 un drone militare europeo. Si stima che 50 Paesi nel mondo utilizzino droni per scopi militari.
Ed è stato anche grazie all'impiego di droni *stealth*, cioè non rilevabili dai radar, che l'esercito americano ha potuto individuare, nel 2011, il nascondiglio di Osama Bin Laden ad Abbottabad e organizzare l'operazione militare con cui fu eliminato.

QUANTA AUTONOMIA? Questi robot militari sono al momento i più tecnologicamente avanzati. Lo sviluppo li sta rendendo sempre più autonomi. Per esempio, si parla di aerei autonomi in grado di decollare e atterrare sulle portaerei, una delle manovre più difficili per un velivolo. Lo scopo è ridurre sempre di più l'impiego di personale umano, per evitare perdite e ridurre costi economici. Ecco perché sono allo studio anche mezzi autonomi in grado di navigare in mare. Uno dei capostipiti di questa nuova generazione di robot è il Seaglider, sviluppato dall'Università di Washington e dotato di un sistema di propulsione basato sul continuo cambiamento dell'assetto di galleggiamento. Questo consente al drone di restare in mare anche per mesi. Il robot è stato usato per controllare l'impatto del disastro della piattaforma Deepwater Horizon nel Golfo del Messico, nel 2010. In ambito militare è impiegato per individuare mine sottomarine. Ma c'è di più. L'Unione europea ha finanziato un progetto ancora più ambizioso, guidato dal tedesco Fraunhofer Insti-

A sinistra, l'esoscheletro Hulc della Lockheed Martin: l'armatura di titanio trasferisce sul terreno i pesanti carichi dei soldati.

Sopra, un robot artificiere utilizzato per verificare la presenza di ordigni in un'auto a Nairobi (Kenya).

Disarmadillo, lo sminatore low cost

Si chiama Disarmadillo ed è un trattorino agricolo modificato, a basso costo, per individuare le mine senza farle esplodere. Finita l'opera di sminamento, la macchina può essere convertita per un uso agricolo. L'idea è di una robotica genovese, Emanuela Cepolina, 35 anni, che l'ha sviluppata per la tesi di dottorato al Dipartimento di Robotica dell'Università di Genova: si propone di donare quanti più Disarmadillo possibile in zone dove il problema delle mine è più grave (Egitto, Iran, Cina, Iraq, Angola, Mozambico, Afghanistan, Bosnia e Croazia), per aiutare i contadini a bonificare le proprie terre. Ora cerca finanziatori tramite un'associazione umanitaria, SnailAid (www.snailaid.org).

tut: una nave robotica, battezzata Munin (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks).
Le navi Munin saranno in grado di navigare in modo autonomo o semi-autonomo, cioè con un controllo dell'uomo a distanza. Il progetto è pensato soprattutto per uso civile, per la scarsa disponibilità di persone disposte a fare lunghe navigazioni. Ma la nave potrebbe essere usata anche per pattugliare i mari.

TRASPORTO E SOCCORSO. Nel frattempo, si lavora per sviluppare robot militari di appoggio logistico, cioè per il trasporto di equipaggiamento. È il caso di BigDog, sviluppato dalla Boston Dynamics, di recente acquisita da Google. Più che a un cane, somiglia a un mulo senza testa: equipaggiato con un motore diesel, lungo 1 m e alto 80 cm, può trasportare fino a 150 kg, salendo pendii fino a 35 gradi e muovendosi a 6 km/h. Sa stare in equilibrio su qualsiasi terreno, anche se viene preso a calcioni. La Boston Dynamics ha sviluppato anche un robot umanoide, Atlas, per soccorrere persone o soldati in situazioni di pericolo e resistente ai colpi d'arma da fuoco. Studiato soprattutto per impieghi civili e antiterrorismo, non prevede l'uso di armi. Ma c'è già chi teme che robot di questo tipo possano un domani essere armati e diventare vere macchine-soldato.
Altro filone di ricerca per scopi militari è quello degli esoscheletri. Sono strutture rigide da indossare: consentono ai soldati di muoversi più velocemente, con maggiore resistenza e di sollevare pesi notevoli. Gli Stati Uniti stanno sviluppando una versione, il Talos (Tactical Assault Light Operator Suit), con la collaborazione di 80 società private e 10 università. Lo scopo è realizzare un'armatura che protegga il soldato, ne controlli le funzioni vitali, lo aiuti a controllare lo scenario operativo anche con visibilità nulla e incorpori armi. Dovrà essere pronta entro il 2018.

PATTUGLIE IN STRADA. Infine, ci sono robot che sorvegliano il territorio per proteggerlo dalla criminalità. Negli scorsi mesi, a Torino sono stati testati droni multirotore equipaggiati con telecamere ad alta definizione per contrastare lo spaccio di droga, oltre a scippatori e borseggiatori. I test hanno dato eccellenti risultati anche nel monitoraggio di reati ambientali, come la presenza di costruzioni o discariche abusive.
In attesa che venga sviluppato il Knightscope K5, un robot su ruote a forma di uovo che, combinando tecnologie di visione basate su scanner e Gps, capacità di lavorare in rete e di muoversi autonomamente e potenti algoritmi, sarebbe in grado di prevedere il verificarsi di crimini e di allertare la polizia in caso di bisogno.
Un primo passo verso una società alla *Minority Report,* in cui le città saranno controllate dai robot? E

Riccardo Oldani

Robot simili a umani e guerre con androidi erano comuni nella letteratura popolare degli anni '50, come si vede da queste copertine.

I robot, così come noi li immaginiamo, non sono quelli reali. Sono quelli della fantascienza, nati negli anni '20. Che nel frattempo si sono evoluti in forme sorprendenti.

Profeti della robotica

Mondi lontani, abitati da esseri artificiali, pianeti governati da un computer, astronavi al comando di cervelli cyborg. Nell'immaginario di tutti, il robot è la fantascienza. In effetti, creare un doppio, un essere artificiale dotato di vita propria è sempre stato il sogno dell'uomo, fin dall'antichità: ne parlano alcuni miti greci, leggende medievali e soprattutto la vicenda mitica cinquecentesca del Golem, l'essere di argilla che nel ghetto di Praga proteggeva gli ebrei e che veniva messo in movimento da formule cabalistiche. Ma l'idea di una creatura portata in vita dalla scienza è da tutti gli studiosi attribuita a Mary Shelley, l'autrice di *Frankenstein* (1818). Sebbene non si tratti di un robot, la creatura del romanzo è in vita non per magia, ma per il potere della tecnologia, in questo caso dell'elettricità. «La consapevolezza dei mutamenti che l'uomo avrebbe prodotto unendo insieme conoscenza e potenza della macchina ha creato le storie in cui gli esseri artificiali sono protagonisti» spiega Sandro Pergameno, curatore di collane di fantascienza per Fanucci Editore. «Un tema molto intrigante: l'idea di costruire automi intelligenti soddisfa infatti l'aspirazione umana di raggiungere l'immortalità e contemporaneamente fa nascere il timore che, proprio perché la macchina è priva dei difetti tipicamente umani, possa diventare più potente dell'uomo e quindi pericolosa».

IDEE SCIENTIFICHE. La nascente tecnologia colpì l'immaginazione degli scrittori molto presto, infatti. Già nel 1868 Edward Ellis scrisse di uomini a vapore nel romanzo *The Steam Man of the Prai-*

Nei racconti di fantascienza, il robot è spesso stato una figura negativa, pronta a prendere il posto dell'uomo o a distruggerlo. Fu Asimov, a partire dagli anni '40, a creare la figura del robot compagno di vita, più che servitore, dell'uomo.

ries e anche Jules Verne ideò per il suo romanzo *Il demone di Cawnpore* (1880) un elefante meccanico mosso dalla forza del vapore. La parola robot nacque però qualche anno dopo, coniata dal commediografo boemo Karel Capek per il dramma *R. U. R.* (Rossum's Universal Robot) del 1920, e deriva dalla parola ceca *robota* (chi lavora duro). I robot di Capek erano creature artificiali indistinguibili dagli esseri umani e avevano il compito di svolgere lavori pesanti.

Non fu però la fantasia a dare il via alla vera fantascienza cibernetica, quella che si occupa di uomini meccanici e computer intelligenti. Fu la scienza: il primo a introdurre il computer nei racconti della rivista che dirigeva,"Astounding science fiction", fu infatti John Campbell che era studente al MIT, l'università tecnologica più prestigiosa degli Usa. Campbell ▸

Asimov e le 3 leggi della robotica

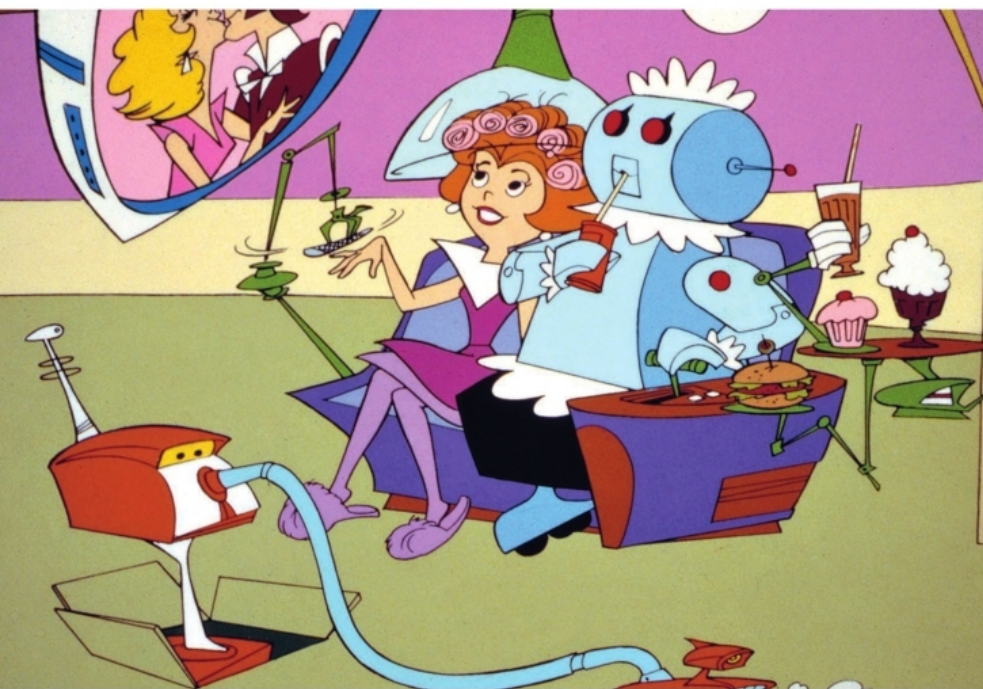
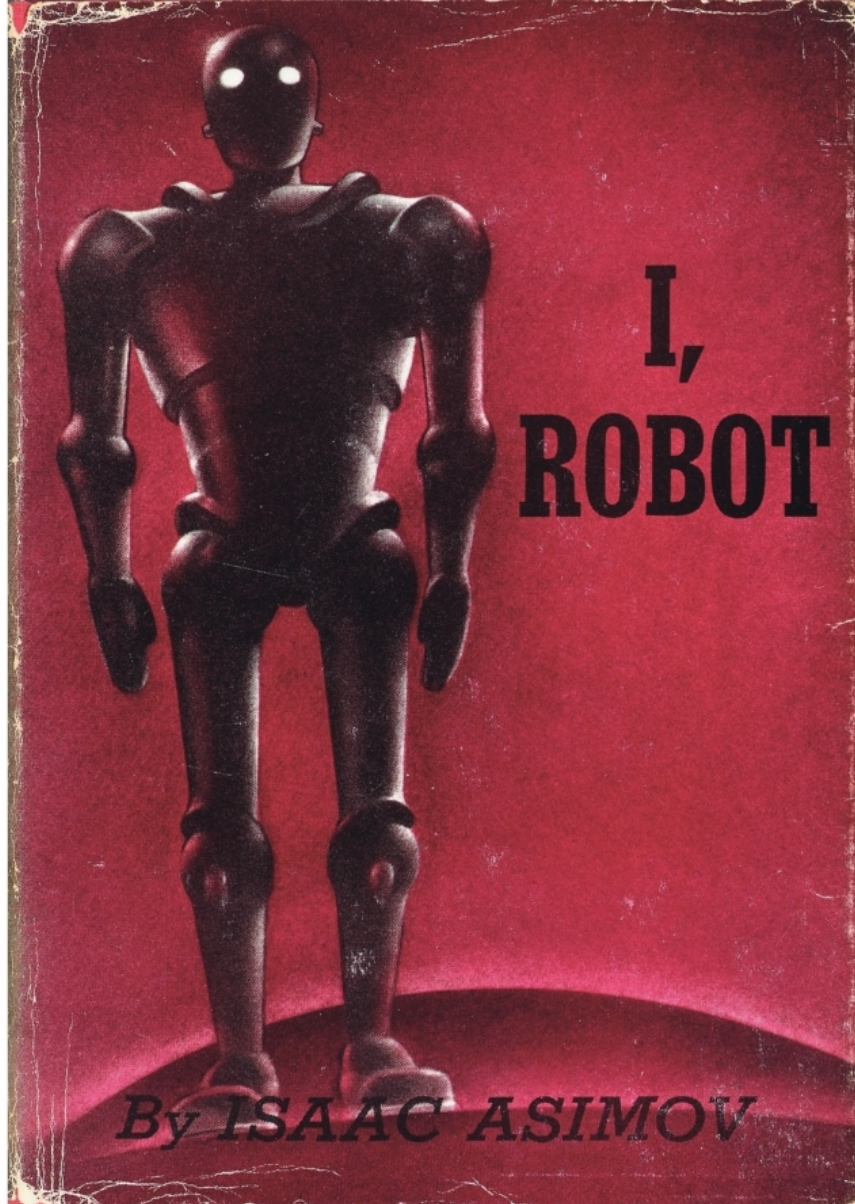
Messe nero su bianco da Isaac Asimov all'inizio degli anni '40, le tre leggi hanno influenzato per decenni (e continuano a farlo) la letteratura di fantascienza e chi si occupa di etica robotica (vedi articolo a pag. 102).

1. UN ROBOT NON PUÒ FAR DEL MALE A UN ESSERE UMANO, o permettere, per incuria, che a un essere umano venga fatto del male.

2. UN ROBOT DEVE OBBEDIRE AGLI ORDINI DI UN ESSERE UMANO, eccetto nel caso in cui questi ordini contrastino con la prima legge.

3. UN ROBOT DEVE DIFENDERE LA PROPRIA ESISTENZA a meno che tale difesa non contrasti con la prima e la seconda legge.

Gli automi soddisfano l'aspirazione di diventare immortali e onnipotenti

Sopra, una copertina della rivista Usa *Fantasy*. A destra, ***Io, Robot***, la prima antologia di racconti robotici di Asimov. Sotto, ***I Pronipoti***, serie animata degli anni '60.

divenne amico di uno dei docenti, il matematico Norbert Wiener, tra gli studiosi cui si deve l'invenzione del computer. Le conversazioni con questo scienziato hanno ispirato i suoi racconti influenzando tutta la letteratura di fantascienza, compreso l'amico Isaac Asimov, universalmente riconosciuto come il più importante autore di romanzi sui robot. Pochi sanno, per esempio, che le celebri tre leggi della robotica (*vedi riquadro nella pag. precedente*) sono un'idea di Campbell, non di Asimov che le enunciò.

IL FUTURO È QUI. Del resto, nella fantascienza cibernetica finzione e realtà si sono spesso contaminate: Asimov scrisse il suo primo racconto di robot, *Robbie*, dopo aver visto esposto alla fiera Mondiale di New York del 1939 un vero androide, mentre Joseph Engelberger, tra i costruttori del primo robot industriale, Unimate, faceva risalire la sua passione per la robotica alla lettura di

I primi protagonisti: il finto robot

È considerato un passo fondamentale nella storia della robotica, il primo esempio dell'aspirazione ad avere a che fare con macchine intelligenti. Per questo, ispirò alcuni dei primi racconti di fantascienza cibernetica: *L'automa*, di E. T. A. Hoffman (1814) e *Il giocatore di scacchi* di Edgar Allan Poe (1836).
TRUFFA. Ma era un falso. Il cosiddetto "Turco" fu costruito da Wolfgang von Kempelen nel 1770. Era costituito da un tavolo sul quale stava appoggiata una scacchiera e da una figura umana meccanica, vestita come un turco, che muoveva i pezzi degli scacchi.
In realtà, era azionata da un abile giocatore nascosto nell'intercapedine della scrivania e in grado di battere nel gioco degli scacchi gli avversari umani che incontrava. Prima dell'inizio della partita i 6 sportellini che si trovavano intorno alla scrivania venivano aperti uno alla volta, rivelando una serie di ingranaggi inutili, mentre lo scacchista si spostava man mano, restando così nascosto.

Frankenstein (qui sopra una locandina del film tratto dal romanzo) è considerato il primo vero racconto di fantascienza.

Io, Robot di Asimov. Non solo: la fantascienza ha a volte previsto il futuro, basta pensare agli automi che si occupano delle nostre case. Asimov ha anche immaginato computer alla guida di astronavi e robot esploratori intenti allo studio di altri pianeti prima che queste tecnologie venissero davvero realizzate. In *The 64-Square Madhouse* (1962) Fritz Leiber immagina un computer che batte l'uomo a scacchi. E nel 1976 in effetti il programma CHESS 4.5 vinse un regolare torneo.

MISSILI. Anche i racconti sulla cosiddetta guerra dei bottoni anticiparono i possibili problemi posti da questi sistemi completamente computerizzati. Nel racconto *Level 7,* di Mordecai Roshwald, si immagina un malfunzionamento dell'apparecchiatura che lancia razzi contro il nemico e che quindi scatena una guerra. Appena un anno dopo, una cosa molto simile accadde davvero: nell'ottobre 1960 il sistema antibalistico Usa interpretò alcuni segnali radar come missili in arrivo sugli Stati Uniti e partiti dal Polo Nord. Il comando chiamò immediatamente la stazione radar per conferma e non ottenne risposta. Ma anziché mettere in azione i missili in risposta contro la Russia, il comandante insistette nel contattare la stazione radar e per telefono fu chiarito che non c'era alcun allarme; un cavo sottomarino di comunicazione dati si era rotto prima che la stazione radar potesse mandare al comando una rettifica.
«Attenzione però» fa notare Silvio Sosio, curatore della collana *Odissea Fantascienza* (Delos Books), «la fantascienza non ha mai lo scopo di precorrere la realtà. Lo scrittore cerca di immaginare futuri plausibili per raccontare storie, un artificio che serve a osservare meglio i problemi del "qui e ora" e le loro ripercussioni. Ovviamente è capitato spesso che cercando di immaginare un futuro verosimile le opere di fantascienza centrassero anticipazioni».

QUESTIONI FILOSOFICHE. I robot, insomma, dopo i primi anni in cui sono rimasti legati ai veri sviluppi tecnologici, sono stati usati dagli scrittori come pretesto per porsi domande filosofiche importanti: c'è differenza tra vita naturale e vita artificiale? Qual è il destino che attende l'umanità intenta a inseguire il progresso tecnologico?
Lo stesso Asimov, nella sua ultima opera, considerata il suo capolavoro, *L'uomo bicentenario* (1976), si pone il tema etico dell'opportunità di estendere alle intelligenze artificiali gli stessi diritti dell'uomo. E, attraverso la vicenda del protagonista (un robot che vuole in tutti i modi vedersi riconosciuto come uomo) arriva alla conclusione che non si può tracciare una linea di demarcazione tra animato e inanimato. In altri romanzi si affronta invece il tema della fine della civiltà. In *Though Dreamers Die,* di Lester Del Rey (1944), l'ultimo terrestre programma i robot perché possano riprodursi, poi parte con un'astronave per morire in solitudine. In un successivo romanzo, che si svolge in un tempo ancora più lontano, gli stessi robot scopriranno con incredulità di discendere da creature organiche. «In fondo, chi dice che automi come questi non arriveranno? Abbiamo robot che camminano come umani e software che parlano come umani. Certo, per l'intelligenza artificiale così come la intende la fantascienza c'è tempo, ma...» dice Sosio. Il robot non è però più l'oggetto principale dei racconti. «Robot, androidi o cloni sono ormai dimenticati, il fulcro della fantascienza di oggi è la coscienza che si riversa su supporti elettronici. Si stanno affermando, inoltre, i romanzi di ampio respiro che immaginano società in cui il controllo dell'economia da parte delle macchine apre scenari a volte catastrofici a volte semplicemente inattesi» racconta Pergameno. Il canadese Robert J. Sawyer, per esempio, ha scritto la trilogia *WWW,* nella quale racconta la nascita spontanea di un'intelligenza artificiale autonoma dalla rete Internet. Le questioni che si aprono in questi romanzi non sono meno complesse. E filosofiche. Se il mio corpo si riversa in una macchina sono ancora io o no? Dov'è l'essenza dell'uomo (l'anima)? Le risposte, ai prossimi romanzi fantascientifici. Quello che è certo, però, è che arriveranno anche nuove domande. Ⓔ

Raffaella Procenzano

Fatti a nostra immagine

Imitare l'uomo (e la sua camminata) è la sfida più difficile. Ma è inevitabile se vogliamo robot capaci di interagire bene con noi.

Quando fu presentato al pubblico nel 2006, dopo 20 anni di progettazione e milioni di dollari investiti per il suo sviluppo, il robot Asimo della Honda - alto 130 cm, pesante 54 kg - stupì tutti per il suo aspetto (quasi) umano. Ma, nel salire una piccola rampa di scale, giunto al terzo scalino cadde rovinosamente all'indietro: una figuraccia fantozziana.
Oggi Asimo è in grado di camminare e correre fino alla velocità di 6 km/h, di capire ordini vocali in diverse lingue e di eseguirli, perfino di firmare in inglese e in giapponese. Può riconoscere i volti delle persone, e ormai sa salire e scendere le scale. Ma perché è stato così difficile arrivare a questo risultato?

EQUILIBRIO DIFFICILE. Dopo gli automi del '700, fu solo negli anni Settanta del secolo scorso che l'ingegneria cominciò a produrre robot che prendevano spunto dall'uomo, gli androidi o umanoidi. Ambo i termini contengono la parola uomo (*andros* in greco e

Il robot giapponese HRP-4C canta e danza in un'esibizione a una fiera di informatica a Tokyo. Viso e movimenti sono molto fedeli alla realtà.

Fai da te
Costruisci il tuo robot

SOLO 30 ANNI FA era impensabile: costruire e programmare in casa un robot funzionante. Oggi invece siamo nell'epoca dei robot fai da te. Quest'anno la De Agostini ha lanciato Robi: un piccolo umanoide alto 35 cm, pesante 1 kg, capace di camminare, di ballare, di capire oltre 250 parole. Risponde quando lo si chiama e dà un caloroso benvenuto quando si torna a casa. La vera novità è la modalità di acquisto: lo si compra pezzo a pezzo, dalla scheda Cpu alle braccia, in edicola o sul Web (esce in 70 fascicoli, da 7,99 a 19,99 €). Per assemblarlo tutto e metterlo in funzione occorre un anno e mezzo. Il robot è stato creato da un ingegnere giapponese, Tomotaka Takahashi, docente al centro di Tecnologie avanzate all'Università di Tokyo: proprio in Giappone ne sono stati venduti più di 100 mila pezzi.

L'ESPERIMENTO, in realtà, non è del tutto nuovo. Già alla fine degli Anni '90, grazie a una collaborazione col MIT di Boston, la Lego ha creato piccoli robot da assemblare, mescolando elettronica e mattoncini. I primi furono per lo più veicoli; l'anno scorso è stata lanciata la serie Mindstorms EV3, la terza generazione di costruzioni programmabili che comprende anche robot umanoidi. Grazie a un mattoncino intelligente che si collega al computer, si possono programmare robot che camminano, parlano, evitano gli ostacoli e si guidano con un telecomando o con lo smartphone. Un successo planetario, tanto che la Lego organizza competizioni in cui i robot si sfidano in varie gare.

L'umanoide Robi: esprime emozioni coi gesti e il colore degli occhi.

Il robot Geminoid-DK è una replica perfetta di Henrik Scharfe, docente di Informatica all'Università di Aalborg, in Danimarca. Sotto, le fasi di preparazione dell'androide, costato 130 mila € e 9 mesi di lavoro.

humanus, dal latino), con il suffisso *-oid*, che significa "a mo' di"; "quasi umani", insomma. Uno dei primi, frutto di una collaborazione tra alcuni laboratori della Waseda University, in Giappone, si chiamò Wabot (WAseda roBOT). Wabot-1, il prototipo, era costituito da un sistema di controllo delle gambe, uno addetto alla visione e uno per la comunicazione. Aveva quindi gambe, braccia e sensori, sotto forma di occhi e orecchie. Il secondo Wabot era un robot "specializzato", perché fu progettato per suonare, un compito che secondo i progettisti implicava, oltre che un corpo, anche un'intelligenza umana. La storia di Wabot dimostrò però che non era facile progettare e costruire un robot senza una profonda conoscenza del "modello di base": il corpo umano. E infatti, si è arrivati relativamente tardi a questi robot perché i ricercatori di tutto il mondo si erano applicati, per anni, a chiarire come funzionassero i sistemi che ci permettono di camminare, di stare in equilibrio e di rispondere in maniera flessibile alle sollecitazioni esterne.

MEGLIO LA DAMA. Il nostro senso dell'equilibrio, per esempio, è molto complesso, perché frutto di costanti scambi di segnali tra l'orecchio, gli occhi, i muscoli e migliaia e migliaia di sensori "propriocettivi", che percepiscono la nostra posizione nello spazio e sono posti ovunque nel corpo. Riprodurli è un compito ingegneristico quasi impossibile.
Proprio per questa ragione la camminata dinamica è una delle caratteristiche più complesse da riprodurre. «È facile costruire un robot capace di giocare a dama, ma è difficile, o impossibile, fare in modo che abbia le capacità di un bambino di 1 anno quando si tratta di percezione e mobilità» disse negli Anni

«La prima volta che ho visto il mio replicante non smettevo di fissarlo. Ci son voluti 2 giorni per abituarmi. E quando si è mosso è stato come vedere qualcuno uscire dal coma»

'80 l'esperto di robot Hans Moravec. Nacque così il "paradosso di Moravec": ci vogliono molte più risorse di calcolo per le capacità motorie che per quelle di ragionamento. Questo non ha fermato alcuni di ricercatori e ingegneri robotici, che hanno affrontato il problema della camminata, della coordinazione tra i sensi e tra sensi e organi, come le braccia e le gambe. Gli arti sono però ancora molto grossi e ingombranti e, come previde Moravec, difficili da muovere con equilibrio e coordinazione.
Da allora sono stati fatti molti passi in avanti, ma una fluidità comparabile a quella umana è una meta ancora da raggiungere. Ma perché tanti sforzi per imitare l'uomo? Secondo Stefano Moriggi, filosofo della tecnologia dell'Università di Milano Bicocca, le ragioni sono profonde: «Il corpo umano è sempre il modello ideale, l'archetipo, che abbiamo in testa, ed è difficile staccarsene; per quanto imperfetto, è un modello di successo, un punto di partenza inevitabile, visto che è il frutto di milioni di anni di evoluzione». «È vero che la nostra struttura non è perfetta» aggiunge Nikos Tsagarakis, responsabile di Walk-Man, un progetto di ricerca europeo per robot umanoidi, guidato dall'Istituto Italiano di Tecnologia di Genova «ma va benissimo in molte situazioni in cui è richiesto l'intervento dell'uomo. Ogni robot deve essere compatibile con gli ambienti in cui opera, e la maggior parte sono costruiti a misura d'uomo. Impossibile salire le scale se hai le ruote».

GEMELLI. Ma c'è un'altra linea di ricerca sui robot umanoidi, che non si cura del movimento e dell'equilibrio. Volta a progettare robot sempre più simili a esseri umani nell'aspetto e nelle espressioni, ma non nel movimento. All'Università di Osaka, in Giappone, sono nate le Actroid, robot dall'aspetto femminile prodotti dalla Kokoro. Un progetto avanzato di Actroid, chiamato Geminoid HI-1, riproduce le fattezze del suo creatore, Hiroshi Ishiguro, direttore dell'Intelligent Robotics Laboratory dell'Università di Osaka. Il robot gli somiglia così tanto che «tutti ricordano il viso dell'androide» dice. «Ha la mia identità ma lui è molto più giovane di me»: il volto dell'automa, infatti, è rimasto fermo ai 41 anni, mentre il professore oggi ne ha 50. Per ovviare a questo problema, si è sottoposto a un intervento di chirurgia estetica: meno costoso che cambiare la testa al robot.
Geminoid-DK, del 2011, assomiglia invece in modo impressionante al professore danese Henrik Scharfe, responsabile del progetto all'Università di Aalborg. Actroid e Geminoid non si possono ▸

Gli umanoidi perfetti servono ad avere relazioni sociali con gli uomini. E a muoversi in modo efficace negli ambienti in caso di catastrofi

Il robot Asimo stringe la mano ad Andreas Pinkwart, ministro della Scienza in Renania Settentrionale-Vestfalia (Germania).

Sopra, il professor Iroshi Ishiguro (a sinistra) vicino al suo replicante, costruito quando lui aveva 41 anni. Ora ne ha 50, e per mantenere la somiglianza col robot ha fatto un intervento di chirurgia estetica.

muovere e si presentano al pubblico seduti o in piedi, ma sempre attaccati a un supporto. Sono tutti progetti di ricerca, anche se alcune Actroid sono state usate all'Expo di Aichi del 2005 per dare indicazioni ai visitatori, e una per presentare gli eventi alla stessa manifestazione.
Sia i robot "mobili" sia quelli che riproducono un uomo non sono solo esercitazioni, ma hanno scopi molto importanti. Prendiamo per esempio i robot "mobili" come Walk-Man. Il loro scopo è di imitare al meglio il corpo umano, la struttura che più conosciamo, per compiti in cui gli uomini sarebbero in pericolo. Dice Tsagarakis: «Con Walk-Man stiamo cercando di creare un robot che possa intervenire in ambienti progettati e vissuti dagli uomini. Per questo deve avere una forma umana. Se la maggior parte dei robot umanoidi lavora molto bene in laboratorio, Walk-Man dovrebbe intervenire soprattutto in ambienti non strutturati, come fabbriche, palazzi distrutti o in pericolo di crollo, industrie o centrali nucleari altamente contaminate, zone invase dal fuoco».

NEI PERICOLI. Il campo di ricerca è molto in fermento: ogni anno il Darpa (l'agenzia di ricerca del ministero della Difesa Usa) seleziona con una competizione, Darpa Robotic Challenge, gli umanoidi più promettenti per operare in ambienti pericolosi (incendi, centrali nucleari, terremoti). E la Nasa, che nel 2011 ha inviato sulla Stazione spaziale internazionale Robonaut 2 (robot senza gambe, ma con notevole destrezza degli arti superiori), pensa di utilizzarlo anche come robot medico e industriale, o in ambienti pericolosi. Anche i robot industriali si stanno umanizzando: dovendo lavorare a contatto sempre più stretto

A sinistra, il robot Pepper: riconosce 4.500 parole e la mimica del viso, riuscendo a interpretare le emozioni umane. A destra, l'italiano Coman (IIT): i suoi arti si muovono con la stessa fluidità di quelli umani.

con l'uomo, sono dotati di bracci meccanici simili ai nostri, e poco importa se al posto del volto c'è un monitor. Come Baxter, robot della Rethink Robotics, che può operare in vari ambienti industriali: Baxter è dotato di un piccolo schermo che riproduce due occhi, con i quali può assumere "espressioni" umane.

MANICHINI. Ma le espressioni più raffinate sono riprodotte sui robot umanoidi immobili, "manichini perfetti" che devono interagire con altri uomini. L'aspetto sempre più umano di questi robot serve a superare il disagio di avere di fronte uno strumento meccanico: molti automi sono progettati per fare da assistenti personali, quindi è fondamentale che suscitino simpatia. Enon, della Fujitsu, per esempio, secondo i produttori può svolgere alcuni compiti come guidare e accompagnare le persone, trasportare oggetti e aiutare a trovare merci all'interno di un negozio, anche collegandosi alla Rete.

INTERAZIONI. Il passo successivo, forse l'ultimo verso una totale integrazione tra robot e uomini, è dotare questi organismi meccanici di un'intelligenza che gli permetta di interagire con gli umani. Alcuni Geminoid sono già in grado di farlo, rispondendo a tono alle domande e alle espressioni di chi hanno di fronte. La parola d'ordine di questi meccanismi è "interazione flessibile": non semplici aiutanti, ma strumenti con cui parlare, avere risposte, perfino confidarsi. Pepper, un nuovissimo progetto della giapponese Softbank e della francese Aldebaran Robotics, ha un aspetto amichevole e molto "robotico", ma è stato costruito soprattutto per interagire con gli uomini anche a livello emotivo, riconoscendo il loro stato d'animo attraverso una serie di sensori, telecamere e microfoni. Il software che lo governa, inoltre, è flessibile, condiviso con altri Pepper in modalità *cloud* e in continua evoluzione, in modo che l'automa possa "imparare" dalle situazioni e dal padrone che lo ha acquistato. Sarà un robot da compagnia, che potrà dare una mano - non solo nelle faccende domestiche - ad anziani soli. La capacità di rispondere a tono anche all'aspetto emozionale della voce umana, e il prezzo relativamente basso, ne faranno forse uno strumento presente nelle case del futuro.
L'umanoide perfetto, però, non esiste ancora. Probabilmente sarà il frutto dell'integrazione fra i robot mobili e quelli dall'aspetto umano, con un software capace di apprendere grazie all'interazione con l'uomo. E

Marco Ferrari

ICUB IL ROBOT CHE IMPARA

Vede, sente, afferra e parla. Ma la sua missione è un'altra: aiutare gli scienziati a capire come funziona la nostra mente.

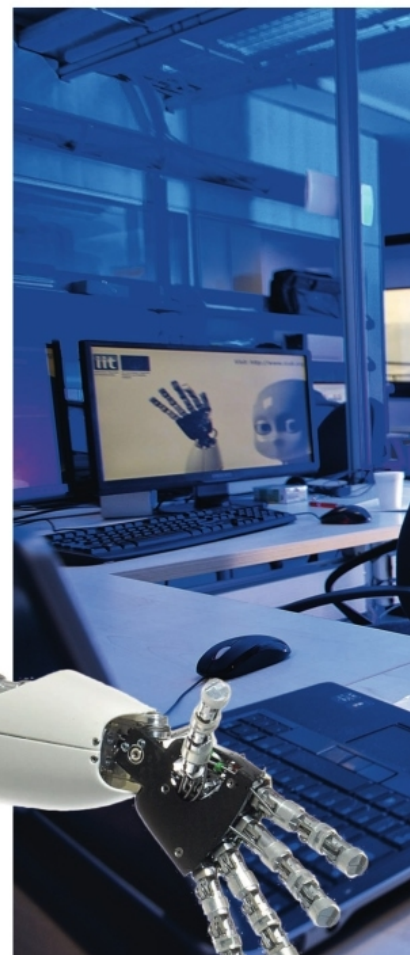
Ciao, adesso ti insegno un nuovo oggetto: ecco un Lego». L'insegnante scuote un mattoncino rosso davanti agli occhi sgranati dell'allievo, poi lo appoggia su un tavolo assieme ad altri giochi e chiede: «Qual è il Lego?». «Credo sia questo» risponde il piccolo indicando con un dito. «Giusto?». Giusto, ma non è questa la cosa straordinaria.

La lezione è speciale, perché davanti a quell'insegnante (un ingegnere elettronico) non c'è un allievo in carne e ossa, ma una macchina in leghe metalliche e silicio: si muove in modo timido e impacciato, ha due occhioni da bambino ed è dotato di un'intelligenza fuori dal comune. Si chiama iCub, è il robot umanoide sviluppato negli ultimi 10 anni (il compleanno cade il prossimo settembre)

INTERATTIVO. Come nascono i pensieri di iCub? Chi sono i suoi papà (sono più di 60)? Perché il robot bambino è una delle più importanti eccellenze tecnologiche italiane? Per conoscere le risposte a queste domande, per vedere il robot all'opera e ascoltare le interviste ai suoi "genitori", abbiamo realizzato un progetto multimediale che trovi su

www.focus.it/icub

La testa di iCub contiene un calcolatore collegato a una sala computer, il vero cervello del robot.

SENSIBILE. Esistono diverse versioni di iCub, impiegate dai vari gruppi di ricerca che lo hanno in uso nel mondo. In questa, il robot ha il corpo ricoperto di materiale plastico, ma recentemente (*vedi pagg. successive*) su alcuni modelli è stata introdotta la pelle. È uno dei pochi robot al mondo ad avere questo organo sensoriale.

Un ricercatore all'opera in un laboratorio dell'Istituto italiano di tecnologia (Genova).

Un robot capace di interagire con l'ambiente e di apprendere con l'esperienza è una sfida per i neuroscienziati

all'Istituto italiano di tecnologia (IIT). L'obiettivo dei ricercatori è intrigante: cercare di scoprire qualcosa in più su come funziona la nostra mente, capire in che modo si sviluppa l'intelligenza in un bambino e come evolve, successivamente, in un adulto. A questo punto vi starete chiedendo: come potrà mai un "cucciolo di robot" contribuire a raggiungere questo risultato? In che cosa può essere di aiuto per gli scienziati? Prima di scoprirlo, però, è necessaria una premessa...

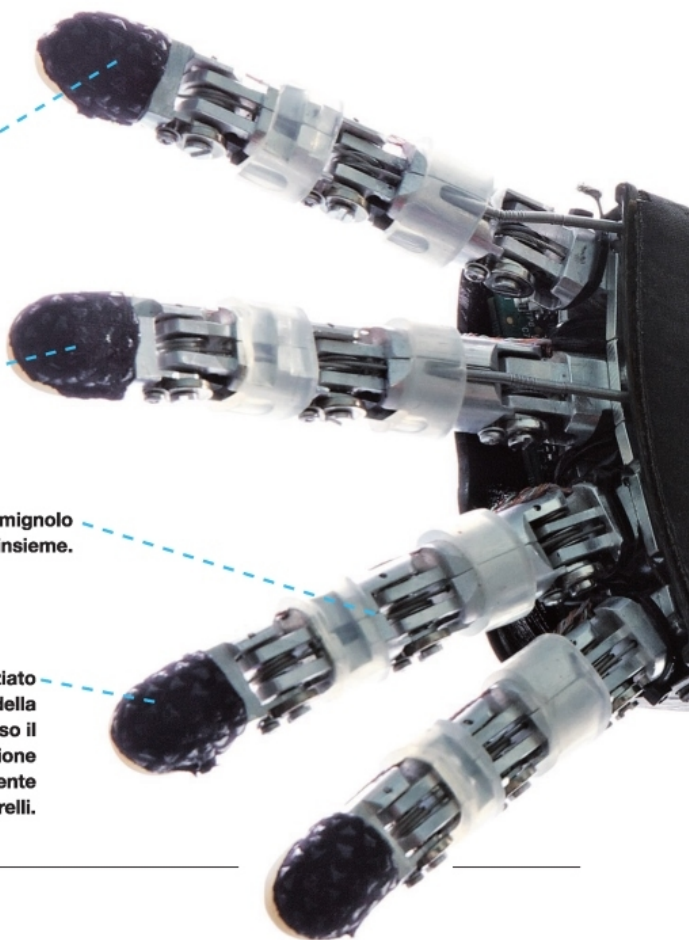
LABORATORIO PER I TEST. «Studiare il nostro sviluppo cognitivo» spiega Luciano Fadiga, neuroscienziato del team di iCub «è una sfida molto difficile, soprattutto dal punto di vista sperimentale. Non si può prendere un bambino e sottoporlo ciclicamente a esperimenti, perché questo condizionerebbe il suo normale sviluppo».
Con un "bambino artificiale", però, il problema è risolto in partenza. Così, all'inizio degli anni Duemila, un gruppo di ricercatori decise di creare un robot in grado di "percepire" l'ambiente e le persone, di interagire con loro e di apprendere gradualmente dall'esperienza. Lo sviluppo di iCub non serviva a ottenere una "macchina performante", cioè particolarmente abile nel compiere determinate azioni, veloce, precisa nei movimenti e così via. Non era questa la priorità. La vera missione del robottino era (e resta tuttora) acquisire una serie di capacità che gli consentissero di diventare un modello per lo studio dell'intelligenza, un laboratorio quasi vivente sul quale testare le ultime ipotesi elaborate dalle neuroscienze computazionali.

L'IMPORTANZA DEI SENSI. Nei prototipi che hanno preceduto iCub la vista era garantita da una banale telecamera fissa, che consentiva loro di riconoscere gli oggetti. A questo "occhio" rudimentale fu successivamente aggiunta la possibilità di muoversi, grazie all'introduzione di motorini elettrici, e già questo permise di condurre i primi studi sull'attenzione, su come controlliamo i movimenti degli occhi e della testa. Ma ben presto fu chiaro che, per studiare la nostra intelligenza nella sua complessità, occorreva capire come questa si modella – secondo le ipotesi più recenti formulate dalle neuroscienze – attraverso l'interazione con gli oggetti che usiamo tutti i giorni. Fu così aggiunto un primo braccio meccanico affinché il robot potesse afferrare e toccare, la sua vista fu affinata e furono via via introdotti componenti, motorini, sensori. Così si è arrivati all'iCub che conosciamo oggi: un umanoide col corpo di un bambino, alto un metro e pesante circa 25 kg, costruito con materiali innovativi e dotato di una pelle sensibile come la nostra.
iCub vede, sente, parla, riconosce gli oggetti, li afferra e li manipola, è in grado di dosare la forza necessaria durante le sue azioni e, nel caso, è capace di schivare oggetti che riconosce come potenzialmente pericolosi. Eppure il suo fiore all'occhiello non è nessuna di queste singole abilità, ma il modo in cui le integra, ▶

Il cervello di iCub elabora le informazioni dei sensi tutte insieme, come nell'uomo. Ma per farlo occorrono 6 supercomputer in 20 m^2

UNA GRANDE MENTE. Il vero cervello di iCub è in questa stanza: una serie di potenti computer a quattro e a otto processori che "dialogano" con il calcolatore installato nella testa del robot. Al momento sono connessi tra loro con un cavo, ma in futuro saranno collegati in wireless o attraverso la rete cellulare.

ovvero come le gestisce e le elabora nel loro insieme.

UN FIUME DI INFORMAZIONI. È una caratteristica, questa, che consente a iCub di imitare l'intelligenza umana in modo molto più fedele rispetto alla maggior parte dei suoi concorrenti, compresi quelli più atletici e appariscenti: «Fino a 20 anni fa» spiega Giulio Sandini, direttore del Dipartimento di robotica e scienze cognitive dell'IIT e uno dei padri di iCub «la priorità di chi si occupava di intelligenza artificiale era capire come funzionano, nell'uomo, i singoli canali sensoriali (tatto, vista, udito ecc.). Col tempo, però fu chiaro che immaginare il cervello come una macchina logico-matematica costituita da migliaia di componenti che, in modo indipendente l'uno dall'altro, elaborano i dati dei sensi, era una visione troppo spezzettata e lacunosa». L'uomo, insomma, non funziona così. «Oggi abbiamo maturato la convinzione che le informazioni trasmesse dagli organi di senso siano connesse tra loro» dice Sandini «e che il cervello le elabori tutte nello stesso istante, in modo coordinato alle azioni». Su questo modello è stata programmata l'intelligenza di iCub: un'intelligenza distribuita, basata su moduli separati (sensori tattili e di forza, telecamere per la visione ecc.) che condividono l'esperienza e la archiviano in una memoria per farne tesoro in futuro. In altre parole, per far capire a iCub che cos'è un giocattolo, un bicchiere o un martello, non basta che il robot faccia una scansione visiva (per quanto accurata) dell'oggetto, ma bisogna che lo tocchi, che qualcuno gli mostri come si afferra e come si usa. Nel frattempo entrano in gioco anche i suoi algoritmi di apprendimento, cioè i software con cui iCub memorizza le esperienze per sfruttarle successivamente, per esempio per

afferrare lo stesso oggetto con maggiore precisione o con una forza più adeguata.

CHE SQUADRA! Oltre alla sua capacità di evolvere e alla continua spinta a imparare cose nuove, a rendere speciale iCub c'è anche il fatto di aver coagulato attorno a sé una comunità scientifica multidisciplinare, unica nel suo genere: ingegneri, psicologi, neuroscienziati, esperti dello sviluppo... Sono oltre 60 i ricercatori di questa grande squadra, che ha la sua base nei 500 metri quadrati dei laboratori genovesi dell'IIT, a cui vanno aggiunti i circa 200 ricercatori sparsi per i mondo: nel corso di questi anni, infatti, il robot-bambino è stato replicato e distribuito in 25 centri ricerche di vari Paesi (in Europa, ma anche negli Usa e in Giappone: *vedi mappa nelle pagine seguenti*) che lo hanno richiesto per impiegarlo come una piattaforma aperta ("open source"). Ogni équipe lo modifica sviluppando particolari componenti o specifiche caratteristiche biomeccaniche, secondo le necessità dettate dalla propria ricerca.
E così c'è un iCub turco (all'Università di Ankara) che sta diventando particolarmente bravo a capire come impiegare alcuni oggetti per arrivare a un determinato scopo (per esempio, un bastone per spostare un oggetto lontano) mentre un iCub americano (Università dell'Illinois) sta imparando il linguaggio partendo dalla grammatica, come fanno alcuni bambini. Al momento iCub risulta il robot più diffuso del pianeta, anche perché è il più utilizzato nella formazione dai principali gruppi di robotica del mondo.

COSA FARÀ DA GRANDE? A questo punto, però, si potrebbe obiettare: d'accordo, consentire ai neuroscienziati di verificare sperimentalmente se le loro ipotesi possano funzionare nel mondo reale è un pregevole risultato. Ma non si potrebbero pensare, per un sistema così evoluto, anche applicazioni più pratiche, che possano avere ricadute più vicine alle esigenze della nostra vita quotidiana? All'Istituto italiano di tecnologia pensano che questa non sia fantascienza: «Quando sarà più maturo» spiega Giorgio Metta, responsabile dell'in-

Un ricercatore mostra a iCub come afferrare per la prima volta un oggetto.

53 gradi di libertà

Consentono al robot di compiere altrettanti tipi di rotazioni, movimenti ecc.

In totale, la mano di iCub ha 22 snodi, quasi quanto quella dell'uomo.

I gradi di libertà sono 9: significa che la mano può compiere altrettanti movimenti indipendenti.

Il robot è in grado di sollevare pesi fino a 5 kg con un solo braccio.

Le gambe di iCub sono l'ultimo componente, in ordine di tempo, a essere stato aggiornato con l'introduzione della pelle.

Uno dei fiori all'occhiello del robot è il suo rivestimento sensibile: 5 mila sensori distribuiti su tutto il corpo.

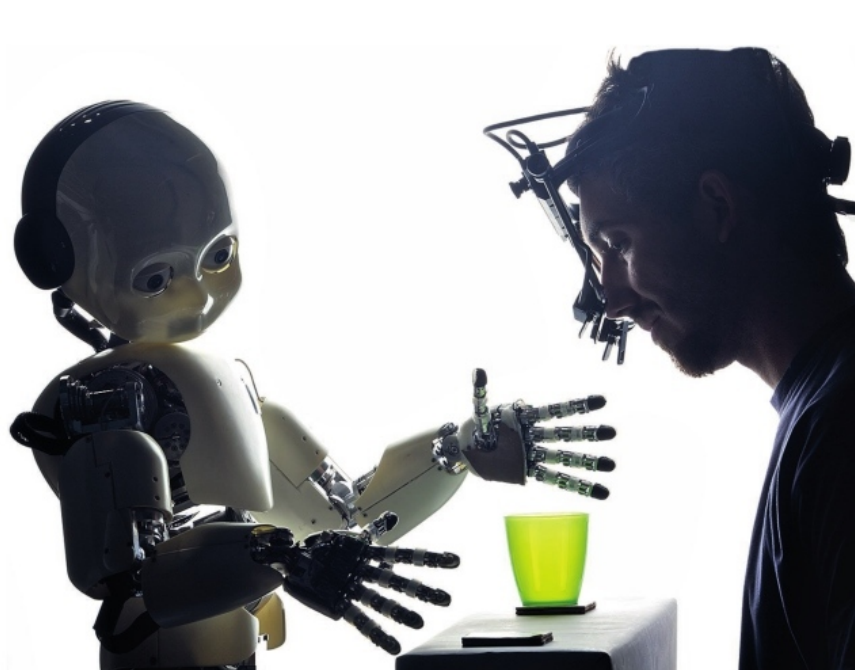
Grazie alla sua pelle, iCub può percepire in modo indiretto il calore e la struttura delle superfici.

Le parti metalliche destinate a sopportare maggiori sollecitazioni meccaniche (braccia, spalle, gambe ecc.) sono in acciaio.

La pelle sensibile di iCub sarà usata nelle case del futuro; gli arti per velocizzare la riabilitazione dei disabili

tero progetto iCub «il nostro robot potrebbe trovare impiego in tutte le situazioni in cui sia necessario interagire con strumenti e persone, dall'ambiente domestico a quello lavorativo». È possibile che almeno le prime applicazioni vedranno coinvolto iCub non col suo aspetto umanoide, ma solo con alcuni suoi componenti: per esempio, la tecnologia alla base della sua pelle artificiale, sensibile al tocco, potrà essere impiegata nelle applicazioni di domotica delle abitazioni del futuro, mentre altre parti del corpo (come mani e gambe) potrebbero essere impiegate nella riabilitazione di malati, per consentire a chi ha perso la mobilità degli arti di riacquistarla, grazie a movimenti più precisi e dunque più efficaci, riducendo i tempi di recupero che oggi sono necessari con la fisioterapia tradizionale.

DECIDERÀ LUI. Ma la capacità di iCub di interagire con l'uomo, questa sua attitudine alla collaborazione ci consentono di immaginarlo – in una visione più a lungo termine – alle prese con compiti che,

Istituto italiano di tecnologia di Genova: iCub, con i ricercatori, impara a conoscere nuovi oggetti.

almeno finora, abbiamo visto svolgere soltanto ai robot del cinema: «Una volta che sarà diventato maturo» spiega Metta «e avrà dimostrato, anche con i necessari test di certificazione, di poter convivere con gli umani senza costituire per loro un pericolo, allora soltanto la fantasia potrà porre limiti alle sue possibile applicazioni». Per esempio, secondo lo scienziato potremo vederlo lavorare in fabbrica, accanto a operai in carne e ossa, assistere i clienti dei centri commerciali nello shopping o aiutare le squadre di soccorso dopo una calamità naturale, accollandosi gli interventi che per l'uomo risulterebbero troppo rischiosi. «Un domani» spiega Metta «ci piacerebbe che, posto davanti a un problema, iCub fosse in grado di valutare e scegliere autonomamente la soluzione migliore, in funzione delle condizioni del contesto e degli strumenti a sua disposizione».

CON L'UOMO NON C'È GARA. Un sistema artificiale in grado non solo di imparare, ma anche di scegliere e di prendere decisioni in autonomia, dunque. Ma non al punto da entrare in competizione con l'uomo e di sfuggire al suo controllo: «Sarà difficile» sostiene Roberto Cingolani, scienziato e direttore dell'IIT «che la mente umana possa essere un giorno surrogata da un programma di intelligenza artificiale, perché alcuni suoi aspetti (soprattutto quelli inerenti la parte artistica, i sentimenti, la socialità) non sono replicabili».

UN CERVELLO IN UNA STANZA. A questi limiti creativi, emotivi e sociali vanno aggiunti, almeno per ora, altri strettamente legati alle tecnologie. Prendiamo il cervello di iCub, per esempio: attualmente la capacità di calcolo del robot è garantita da 6 potenti computer a 4 e a 8 processori, che occupano una stanza di 20 metri quadrati e che, con un cavo, sono collegati al calcolatore installato ▶

Cosa si fa all'IIT: non solo iCub

Uno degli obiettivi dell'Istituto italiano di tecnologia è creare "sviluppo tecnologico" attraverso iCub (ma non solo), stimolando la produzione di brevetti che abbiano ricadute anche al di fuori del progetto del robot. Ecco i risultati finora più promettenti.

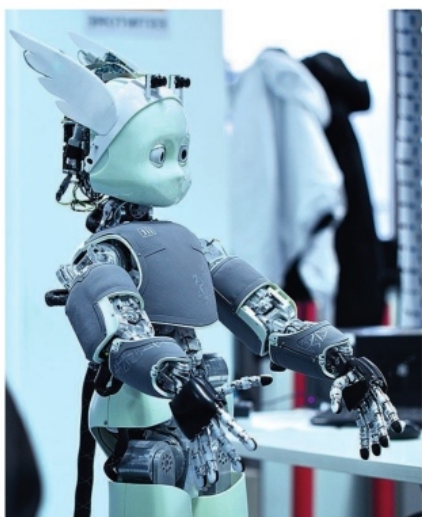
MICROTURBINA. La ricerca sulle fonti di energia portatili per alimentare i robot ha dato luogo alla microturbina (da 14 mm), una tecnologia ispirata alle turbomacchine delle centrali elettriche. Sfrutta la pressione di un fluido disponibile nell'ambiente e la trasforma in elettricità disponibile sul posto. Ideale per zone (in Paesi emergenti) dove portare cavi elettrici è difficile o poco conveniente, ma abbondano aria e gas in pressione.

HIRIS. È un sistema che analizza i movimenti di chi lo indossa. Ancora in fase di test, questo mix di reti di sensori e attuatori potrebbe avere applicazioni in campo sportivo (per studiare e migliorare il gesto tecnico) e nel mondo dei videogame (per controllare i personaggi usando il corpo).

COMPACT. È una tecnologia sviluppata per rendere sicura l'interazione tra robot e uomo. Impiega attuatori di tipo innovativo (basati su elementi elastici, capaci di reagire alle sollecitazioni esterne deformandosi in modo "controllato"), che assicurano ai movimenti del robot precisione, velocità e naturalezza. Le sue possibili applicazioni sono soprattutto nell'industria manifatturiera, principalmente nelle fasi di lavorazione dove sia prevista la collaborazione tra uomo e macchina.

«Posto davanti a un problema, sarà in grado di valutare e di scegliere la soluzione migliore»

iCub nel mondo

Attualmente sono 25 (in 12 Paesi) i centri ricerche che ospitano un esemplare del robot-bambino. iCub è una piattaforma aperta: ogni gruppo di ricerca lo modifica secondo le proprie esigenze di sviluppo e ne condivide i risultati con gli altri.

In alto, un iCub di colore rosso (variante semplicemente estetica); al centro, il robot in una... pausa relax; in basso, una versione dotata di nuovi sistemi di visione, ancora sperimentali, basati su sensori neuromorfi, che imitano cioè il nervo ottico dell'uomo.

Una copia di iCub si trova all'Università dell'Illinois (Usa): qui si studiano il controllo dei movimenti a partire dai dati sensoriali e l'apprendimento del linguaggio a partire dalla grammatica.

L'Istituto Superior Técnico di Lisbona ha contribuito a progettare la prima testa di iCub. Ora i ricercatori lavorano per migliorare gli algoritmi alla base della visione artificiale.

«Come sarà tra 10 anni? Uguale nell'aspetto, ma più intelligente. E più capace di interagire con gli umani»

dentro alla testa del robot. Eppure, un simile spiegamento di forze riesce a realizzare appena una frazione infinitesima delle performance del cervello umano: «Tanto per avere un'idea» spiega Cingolani «la nostra mente elabora ogni secondo un petabyte di dati, la stessa quantità di informazioni che circola in due o tre ore sull'intera Internet. Un limite è l'attuale tecnologia elettronica basata sul silicio che, con un comune computer di oggi, consente di effettuare "solo" alcuni milioni di operazioni al secondo, contro i miliardi di miliardi del cervello umano. Per di più, consumando molta energia» Non è un caso che proprio nei laboratori dell'IIT si stiano studiando circuiti elettronici basati su neuroni (le cellule base che costituiscono il nostro cervello) che funzioneranno in un ambiente di acqua, calcio e potassio. E ci sarà da inventarsi anche qualche nuovo sistema per la fornitura dell'energia, magari ispirandosi al funzionamento del metabolismo umano, che si basa sulla scomposizione di elementi chimici organici molto semplici.

PRONTI? SI PARTE! Insomma, si può dire che, per quanto di strada ne abbia percorsa già un bel po', iCub è appena

arrivato sulla linea di partenza: «Adesso siamo al punto di poter finalmente far lavorare iCub sulle attività per cui è stato costruito» spiega Giulio Sandini «di fargli mettere insieme quanto ha imparato finora, prevedendone anche gli effetti». E alla domanda su come se lo immagina tra 10 anni, lo scienziato risponde: «Me lo aspetto migliore non tanto nel corpo (sarà molto simile a quello di adesso), quanto nell'intelligenza, che sicuramente migliorerà, nella consapevolezza e soprattutto nella motivazione a interagire con noi umani».

Roberto Graziosi

Rappresentazione artistica dell'intelligenza artificiale: i software stanno diventando sempre più capaci di capire il nostro linguaggio.

L'intelligenza artificiale

Le macchine avranno presto software capaci di comprendere il linguaggio umano. Davvero.

Si chiama Eugene Goostman, ha 13 anni e viene dall'Ucraina. A giugno del 2014 il suo nome è apparso su tutti i giornali del mondo perché avrebbe superato il test di Turing durante una competizione alla Royal Academy di Londra. Elaborato dal matematico Alan Turing (*v. riquadro*), il test stabilisce che una macchina può essere considerata intelligente solo se riesce a convincere una giuria di umani. E Goostman ha fatto credere a 10 giudici su 30 di essere un adolescente ucraino, quando invece è solo un *chatterbot*, un programma capace di conversare in chat. La performance di Goostman è stata molto contestata dalla comunità scientifica: se davvero il programma avesse raggiunto un livello "umano", avrebbe dovuto convincere tutti i giudici.

ACQUA CALDA. Ci sono stati altri esperimenti che hanno provato a misurare lo sviluppo delle macchine. ConceptNet 4, sistema di intelligenza artificiale realizzato dal MIT di Boston, ha raggiunto il quoziente intellettivo di un bambino di 4 anni. Per molti versi ConceptNet 4 è già più intelligente di un essere umano che va all'asilo: ha un lessico molto più ampio e, soprattutto, sa rispondere a molte domande enciclopediche, del tipo: "A quale temperatura l'acqua congela?". Ma di fronte a questioni più semplici come: "Quest'acqua è fredda o calda?", il sistema si blocca e indietreggia all'età cognitiva di un neonato.

POTENZIALITÀ E LIMITI. La natura doppia di ConceptNet 4 rende bene l'idea di quali siano oggi le potenzialità e i limiti dell'intelligenza artificiale, settore alle soglie di un punto di svolta. Creare macchine più intelligenti vuol dire non solo dare un forte input allo sviluppo della robotica, ma anche rendere davvero utili i software di riconoscimento vocale ormai disponibili su qualsiasi *smartphone*, come pure poter delegare sempre più funzioni ai sensori che stanno iniziando a popolare le nostre case e le automobili. In tutti questi campi, le due sfide ▸

Turing: un test fuori tempo?

Fu formulato nel 1950, quando c'erano i computer a valvole. Ma è ancora il metodo per capire se le macchine sono più intelligenti degli umani. Il test di Turing prende il nome dal matematico britannico Alan Turing, che sulla rivista *Mind* propose di valutare l'intelligenza di un computer dalla sua capacità di conversare con un uomo. Ma per molti il test di Turing è datato: non può bastare un programma di chat (che spesso non conosce il significato di quanto dice, ma sa solo rispondere alle domande più comuni) a rivelarci se le macchine sono davvero "umane". Oggi una mente artificiale deve capire il linguaggio naturale e imparare in base al contesto.

Sotto, il computer Watson della IBM vince il quiz tv *Jeopardy*, battendo gli avversari umani: una tappa importante verso robot capaci di interagire con gli uomini.

più importanti sono rappresentate proprio dalla comprensione del linguaggio naturale (in modo da cogliere le diverse sfumature comunicative umane) e - parte ben più complicata - dalla capacità di autoapprendimento a partire dalle informazioni del contesto. Due ambiti, questi, in cui negli ultimi anni si sono compiuti passi da gigante.

DAL NEURONE AL CHIP. Sono passati più di 50 anni da quando, nel 1957, il matematico John Von Neumann scriveva nel saggio *The Computer and the Brain*: "Uno studio più profondo del sistema nervoso potrebbe trasformare la nostra comprensione della matematica e della logica". Oggi la sfida degli ingegneri del MIT, di Google e di IBM, è proprio quella di realizzare macchine che vadano oltre il modello dominante fino a ora, ovvero l'esecuzione di compiti a partire da istruzioni precise. Lungo questa direzione sono stati compiuti molti passi: nel 2000 la rivista *Nature* spiegava come un circuito elettronico di 16 "neuroni" possa selezionare e amplificare i segnali come fa il cervello di un mammifero. Ancora oltre è andata l'Agenzia per la Difesa (Darpa) Usa quando, nel 2008, ha annunciato il programma Synapse "per creare macchine intelligenti", cioè dotate d'una mente artificiale meno enciclopedica, ma più intuitiva e creativa.

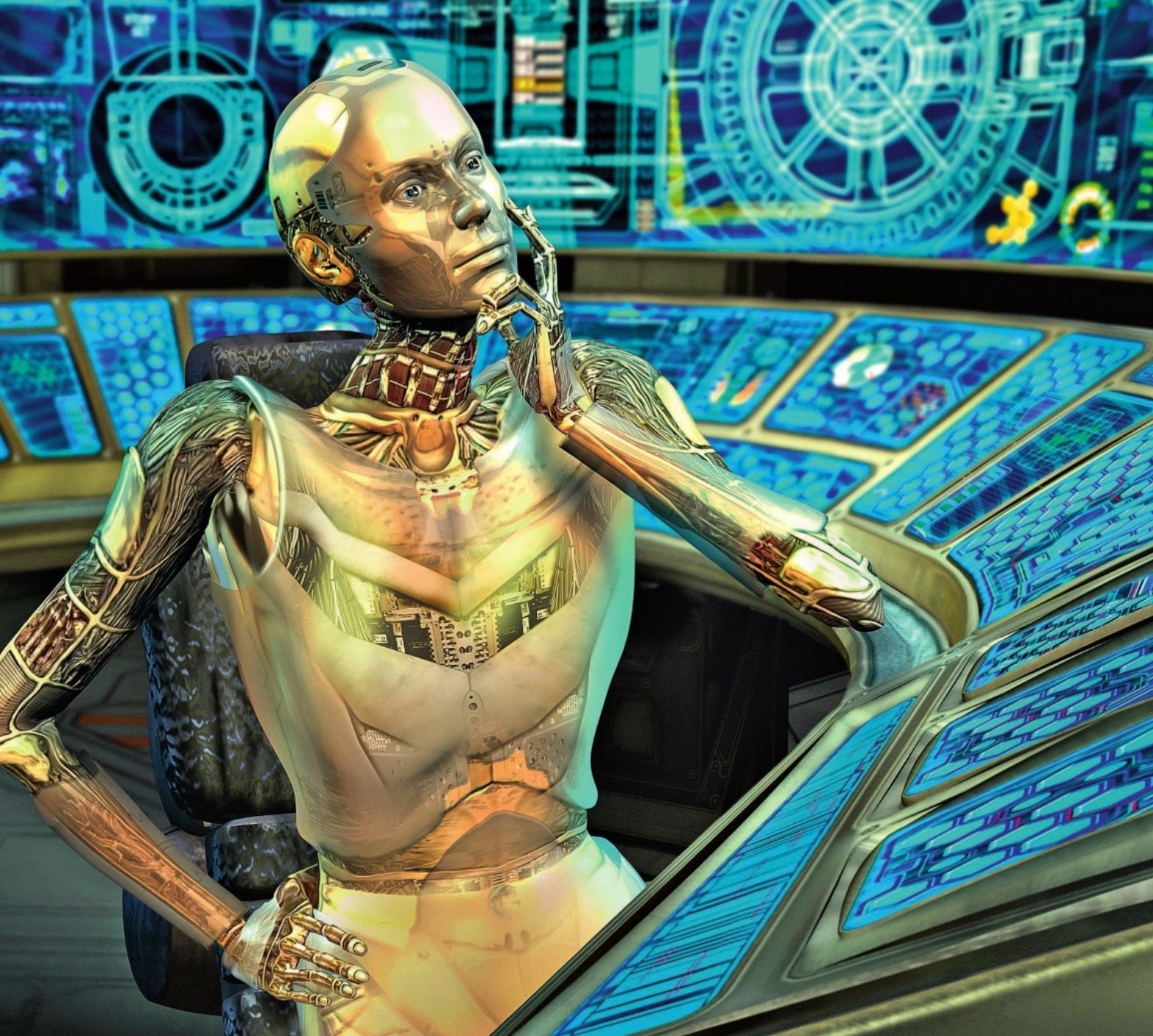
Tra le prime società ad aver seguito questa strada c'è IBM: basti pensare alla celebre vittoria di uno dei suoi supercomputer, Deep Blue, contro il genio degli scacchi Garry Kasparov nel 1996. E IBM ha creato uno dei più avanzati sistemi di intelligenza artificiale esistenti: si chiama Watson ed è noto per la sua partecipazione nel 2011 al quiz televisivo *Jeopardy*, dove è riuscito a sconfiggere gli avversari umani, segnando così un'altra pietra miliare nello scontro uomo-macchina. In forza di questa vittoria, il colosso statunitense è arrivato ad affermare che Watson è "una tecnologia cognitiva che processa l'informazione più come un umano che come un computer. Comprende il linguaggio naturale, genera ipotesi sulla base dei fatti ed è capace di apprendere mentre viene eseguito".

I nuovi chip sono ispirati al cervello: tanti neuroni artificiali collegati da migliaia di sinapsi

Di recente IBM ha deciso di "aprire" la piattaforma di Watson agli sviluppatori e creare un software di intelligenza artificiale spinta. Come quello che aiuta i medici a scegliere la cura migliore a partire da un'analisi dei sintomi e di tutta la lettura scientifica esistente (una diagnosi su 5 è sbagliata, anche perché i medici non hanno il tempo di aggiornarsi). Ma Watson se la cava persino tra i fornelli: sa elaborare nuove ricette analizzando un vasto database con tutti i possibili incroci di sapori al mondo. In una delle sue esibizioni ha creato una variante di kebab con mele e fragole.

LA SFIDA DI GOOGLE. Con la recente acquisizione milionaria della società DeepMind, anche Google vuole fare il salto dalla normale intelligenza artificiale alla Artificial General Intelligence (AGI), in grado di svolgere funzioni più sofisticate come ragionare, pianificare, avere autocoscienza. Saper, cioè, imitare il cervello umano in tutto per tutto. Google ha proprio bisogno di una mente artificiale per offrire servizi che possano fare la differenza nei campi in cui ha investito: la robotica (con l'acquisizione della Boston Dynamics), la domotica (con i sensori intelligenti di Nest), gli indossabili (Google Glass) e l'auto (*v. riquadro*). Con Internet che invade tutta la vita quotidiana, un motore di ricerca deve essere capace non solo di mettere a disposizione un insieme di risultati, ma di fornire informazioni rilevanti a seconda delle richieste.

Un esempio? Il film di Spike Jonze *Lei*, in cui Scarlett Johansson dà voce a un software di intelligenza artificiale: l'attrice non compare mai sullo schermo, ma la sua voce, unita a una sorprendente abilità di apprendimento, lo trasforma in un essere umano perfetto, tanto che il protagonista se ne innamora. È il futuro che ci attende: i programmi diventeranno sempre più bravi a simulare le capacità umane, non solo il ragionamento o la conversazione, ma anche le emozioni.

CHIP NEUROMORFICI. Il meccanismo alla base di qualsiasi computer è più o meno sempre lo stesso: un'unità centrale che manipola i dati (CPU) e una memoria che conserva le istruzioni su come elaborare i dati (RAM). Questa architettura limita il numero di processi simultanei che anche i computer più potenti riescono a svolgere: sono sempre troppo pochi rispetto a quelli del cer- ▶

Così intelligenti da guidare **l'auto**

Non ha volante, freni o acceleratore. Ma con le sue telecamere, radar e sensori è più affidabile di un autista: ha già percorso 1 milione e 126 mila km senza incidenti. È la Google Car, l'auto che si guida da sola. Basta premere un pulsante e parte. Sa quando accelerare e quando rallentare, riesce a scansare un ciclista o un pedone distratto nel raggio di 250 m. Ma non sa guidare in condizioni avverse (con la nebbia si ferma), affrontare un imprevisto (il gatto che attraversa la strada) o percorrere zone non raggiunte da Internet. Google non è l'unica società a lavorare su auto senza conducente. Audi ha presentato un modello di A7 equipaggiato con telecamere, sistema laser e radar connessi al computer. E l'università di Parma ha realizzato il modello BRAiVE: per la prima volta al mondo un'auto a guida autonoma è stata testata nel traffico reale. E se l'è cavata bene.

La Google Car: sul tetto, videocamera, radar e sensori.

Tianhe-2, il computer più potente al mondo a Guangzhou, in Cina.

Colgono le **mode** sul nascere

Si chiama "social analytics": è la scienza che analizza milioni di messaggi, foto e video pubblicati online per cogliere sul nascere i fenomeni emergenti. Dalle reazioni in real-time a un evento sportivo, passando per i gradimenti di un politico o i nuovi tormentoni giovanili, potenti software si stanno specializzando nella comprensione del linguaggio naturale per dare un senso al fiume di contenuti che scorrono su Twitter, Facebook, YouTube. Questi programmi servono ai grandi marchi per migliorare la propria reputazione sui social media, ma anche a prevedere quali fenomeni (musica, moda, videogames, film ma anche conflitti) diventeranno di massa.

I futurologi sostengono che entro il 2050 potremmo avere i primi cervelli non biologici

vello umano. Come spiega Dharmendra Modha, che lavora al progetto Synapse della Darpa «i moderni computer sono figli dei calcolatori, per questo sono buoni solo a setacciare numeri. Il cervello, invece, si evolve nel mondo reale». Proprio il suo laboratorio sta lavorando a una serie di "chip neuromorfici" ispirati alla corteccia cerebrale.
Nel 2011 il team di Modha ha presentato una microcolonna artificiale: un piccolo pezzo di silicio, composto da 256 neuroni artificiali e un blocco di memoria che stabilisce le proprietà delle oltre 262.000 sinapsi che ci possono essere tra loro. Con questo sistema, un computer è in grado di gestire molti più processi in simultanea. E, soprattutto, di integrare gli stimoli che riceve dall'esterno, senza bisogno di essere riprogrammato per svolgere un nuovo compito. A breve, un prototipo di questo chip sarà installato a bordo di un velivolo telecomandato: dovrà imparare a conoscere da solo il territorio su cui vola.

ANNO 2045. Secondo il futurologo Ray Kurzweil, tra il 2015 e il 2045 avverrà la "singolarità" tecnologica: le macchine riusciranno a raggiungere un livello umano. Ma è un obiettivo ancora lontano. Per simulare 1 secondo di attività del cervello umano uno dei supercomputer più potenti al mondo - il K dell'istituto Riken in Giappone: 82.944 processori - ha impiegato 40 minuti, simulando una rete di 1,73 miliardi di neuroni (contro gli 86 miliardi del cervello umano). Ma con il boom dei chip neuromorfici, questo processo potrebbe accelerarsi, portandoci ad avere entro il 2050 i primi cervelli non biologici. Ne è convinto Dick Pelletier, esperto di intelligenza artificiale: «Tra 40 anni i neuroni composti da nano-materiali potrebbero permettere agli uomini di sopravvivere anche ai peggiori incidenti e, magari, acquisire abilità nuove». A quel punto si avvererà la "singolarità" di Kurzweil: artificiale e umano saranno indistinguibili. E i test di Turing resteranno solo un lontano ricordo, di quando l'intelligenza artificiale muoveva i suoi primi, incerti passi. E

Nicola Bruno

Pleo, dinosauro robot: imita un cucciolo di camarasauro. Se è coccolato, si muove in modo giocoso. Se è trascurato esprime tristezza. Merito dei suoi sensori e della sua capacità di apprendere dall'interazione con l'uomo.

Perché amiamo una macchina

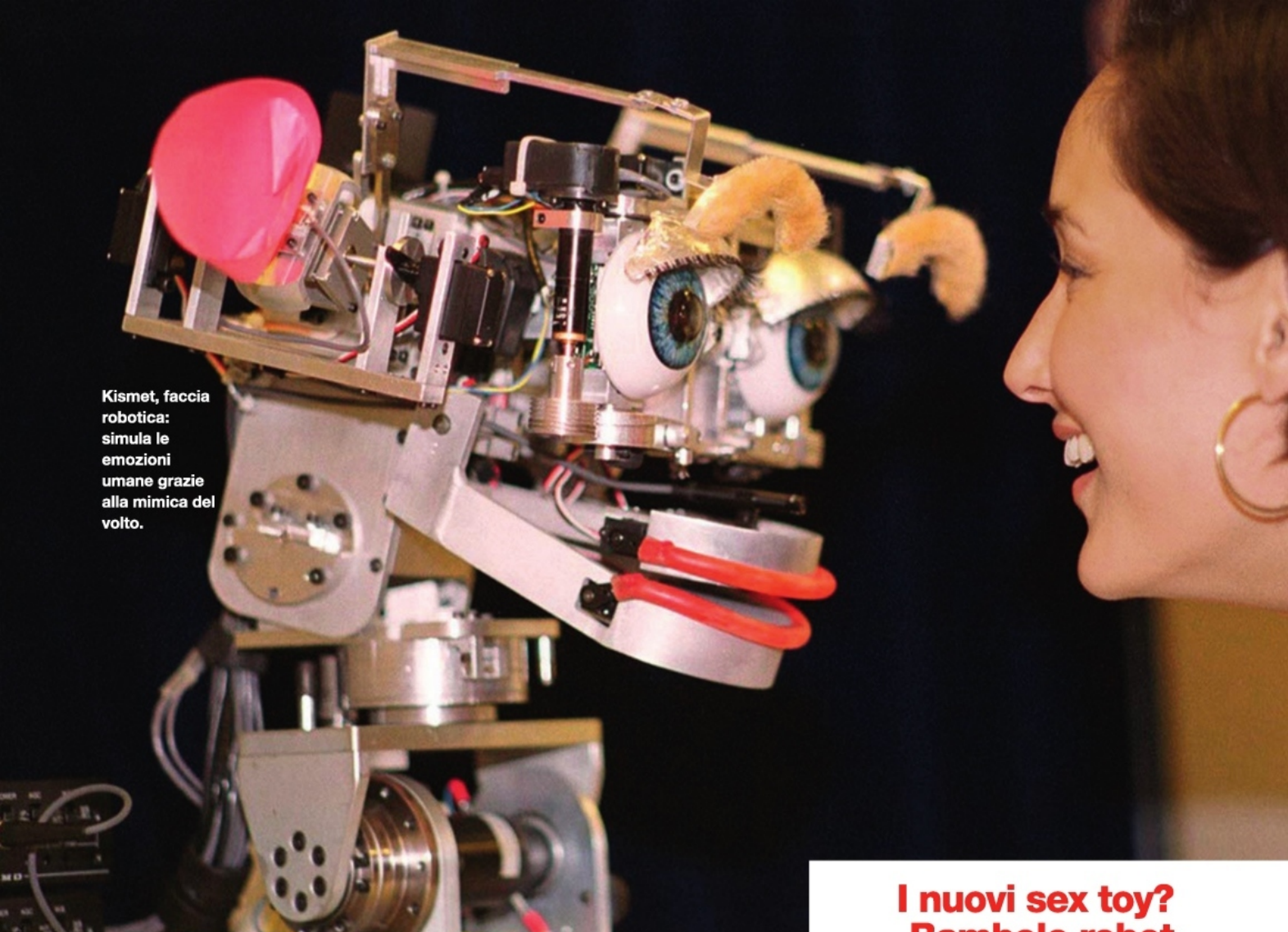
Tendiamo ad attribuire sentimenti umani anche agli automi: ecco perché il legame con loro può essere emotivamente molto profondo.

I robot artificieri che affiancano i militari ricevono premi quando sono "feriti". E i funerali quando si rompono

Medio Oriente. Un soldato statunitense riporta al campo un compagno ferito da una mina, e supplica i suoi commilitoni di rimetterlo in sesto. Si chiama Scooby-Doo ed è fatto di metallo: è uno delle migliaia di robot che affiancano gli uomini su campi di battaglia. «Questi sistemi non sono progettati per promuovere l'intimità con gli umani, eppure molti soldati dicono di nutrire affetto nei loro confronti, soprattutto gli artificieri aiutati da robot nella disattivazione di esplosivi in Iraq e Afghanistan» spiega Peter Singer, consulente del Dipartimento della Difesa Usa. I robot salvano la vita ai soldati, che non restano indifferenti: un artificiere, racconta Singer, si è esposto al fuoco delle mitragliatrici pur di recuperare un robot che era stato messo fuori combattimento. Alcune squadre hanno dato loro promozioni, premi per essere stati feriti e persino celebrato i loro funerali militari. Ma come si spiega questo coinvolgimento per pezzi di ferro e circuiti elettronici?

BOTTONI EMOTIVI. «Pensiamo di essere sofisticati ma i nostri bottoni emotivi vengono schiacciati facilmente anche da dispositivi a bassa tecnologia» dice Ayse Saygin, neuroscienziata all'Università della California. Effetto dei neuroni specchio del nostro cervello, che sono alla base dell'empatia: si attivano quando vediamo qualcuno compiere un'azione nella quale ci immedesimiamo. «Così possiamo comprendere ciò che prova un altro essere vivente. Ma ci porta anche a immaginare che alcuni oggetti abbiano personalità ed emozioni» spiega Adrian Cheok, esperto di interazione uomo-computer alla City University di Londra. Già nel 1944, gli psicologi Fritz Heider e Mary-Ann Simmel avevano dimostrato che possiamo attribuire intenzioni e stati d'animo persino a semplici figure geometriche (triangoli e cerchi) che si muovevano in un filmato. Questa percezione è così forte che solo i pazienti autistici non l'hanno.

Tanto che siamo portati ad attribuire una personalità anche a un braccio robotico che interagisce con una persona: «se non varia mai la sua velocità la gente pensa che sia scortese, mentre quando fa piccoli movimenti a scatti e rallenta vie-

A sinistra, il musical *Robots* messo in scena a Servion, Svizzera: l'attore Branch Worsham balla con un robot del Politecnico di Losanna.
In alto, Pepper, umanoide alto 120 cm: riconosce 4.500 parole e può ballare e scherzare.

ne visto come premuroso e un po' timido» dice Elizabeth Croft, ingegnere meccanico alla British Columbia University. E se siamo programmati per attribuire stati d'animo e tratti caratteriali, a maggior ragione lo facciamo quando ciò che vediamo ha le sembianze di un essere vivente. «Il nostro cervello è attratto dalle facce e non sembra preoccuparsi che siano umane, di una bambola o di un disegno» spiega Thalia Wheatley, psicologa al Dartmouth College di Hanover (Usa). Vediamo due occhi, un naso e una bocca: il cervello si accende. Per questo, osservando una scena in cui qualcuno sega la testa di una bambola chiunque proverebbe disagio. In un esperimento, Wheatley ha fatto vedere un video in cui un volto umano si trasforma gradualmente in quello di una bambola e viceversa: la bambola è percepita come umana, e quindi "viva", già al 67% della metamorfosi. «Un gatto robot o un uomo robot ci sembrano felici o tristi perché i nostri neuroni specchio si attivano, e poco importa se sappiamo che non sono vivi: per una parte del nostro cervello è come se lo fossero» dice Cheok. Anche se l'immedesimazione arriva fino a un certo punto (*v. grafico alla prossima pagina*).

ESPERIMENTI. Tempo fa, Kate Darling, ricercatrice al Massachusetts Institute of Technology, per studiare i sentimenti verso i robot ha fatto un esperimento. Ha scelto un gruppo di persone e le ha fatte giocare per un'ora con Pleo, un robot dinosauro dai grandi occhi dolci. Poi ha chiesto ai partecipanti di farlo a pezzi con un'accetta. Nessuno se l'è sentita. Allora, per metterli sotto pressione, ha detto ai volontari che avrebbero potuto salvare la vita al proprio dinosauro uccidendone un altro. Ma ancora una volta tutti si rifiutarono. Così ha minacciato il gruppo, dicendo che se nessuno avesse ▶

Roxxxy, la prima bambola robot progettata per fare sesso e intrattenere.

Kismet, faccia robotica: simula le emozioni umane grazie alla mimica del volto.

distrutto almeno un Pleo, tutti i robot sarebbero stati massacrati: solo a quel punto un uomo si fece forza e, con sorpresa di tutti gli altri, sferzò un duro colpo a un giocattolo. «I robot suscitano emozioni e affetto e un giorno potremmo arrivare a riconoscere loro dei diritti, come agli animali» ha commentato Darling.

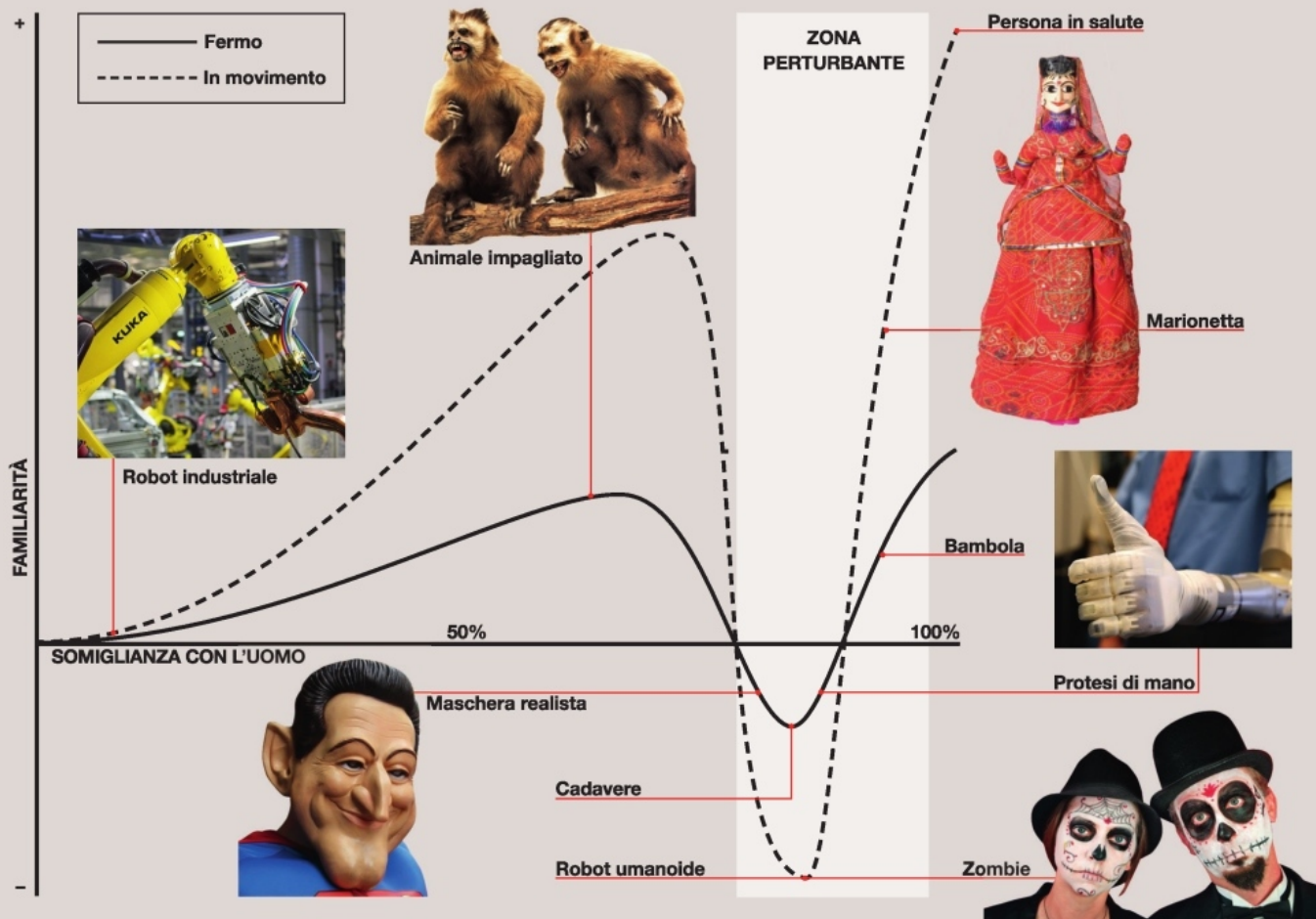
PERSONALITÀ. Infatti, attivano la parte più arcaica del nostro cervello, ha scoperto l'Università di Duisburg-Essen, in Germania, con un esperimento: un gruppo di volontari ha guardato video di violenza contro una donna e contro il dinosauro Pleo, mentre i loro cervelli venivano osservati con la risonanza magnetica funzionale. «Le scene di violenza suscitano reazioni più forti quando colpiscono persone, ma l'aggressione ai robot induce reazioni neurali molto simili nel sistema limbico, dove sono elaborate le emozioni» ha concluso Astrid Rosenthal-von der Putten, autrice dello studio. Ecco perché, spiega Giovanna Morgavi, ingegnere elettronico e psicologa al CNR di Genova, «sono stati creati robot estroversi e introversi: i primi si avvicinano alle persone più velocemente, stanno più vicini all'interlocutore, parlano più in fretta e con tono di voce più alto; i secondi sono più lenti, cauti e hanno voce più bassa. Abbinare un robot estroverso con una persona introversa, e viceversa, crea disagio».

FIGLI E AMANTI. L'ideale per il giusto *feeling* sono gli automi che imparano come i bambini. Come Feelix Growing, un robot concepito pensando al processo di attaccamento dei neonati verso la mamma. Può esprimere rabbia, paura, tristezza, felicità, commozione e orgoglio, mostra angoscia se la sua "mamma" non lo conforta o non si rapporta con lui come e quando ne ha bisogno. Comportamenti che gli stessi bambini utilizzano per interagire con chi li accudisce. «Quanto più il robot ha contatti e riceve risposte adeguate, tanto più forte è il legame che sviluppa e tanto maggiore è la quantità di cose che impara» spiega Morgavi.

I nuovi sex toy? Bambole robot capaci anche di sostenere un discorso. E di scrivere mail affettuose quando si è al lavoro

Ma ci sono altri sviluppi: come Roxxxy, bambola robot alta, snella e dalla pelle vellutata. È l'ultima evoluzione dei *sex toy*, disponibile anche in versione maschile, Rocky. Nell'ordinarla si può scegliere fra vari modelli che variano per alcune caratteristiche fisiche, come il taglio e il colore dei capelli, e indicare le proprie passioni (dal calcio alle auto), in modo da facilitare il dialogo con lei. Roxxxy, infatti, è in grado di sostenere semplici conversazioni: quando le si parla, riconosce le parole e cerca una risposta adatta tra le molte disponibili nel suo software, aggiornabile via wi-fi. E quando si è al lavoro la si può sentire

Dove finisce l'empatia (e inizia il turbamento)

Fino a che punto ci si può immedesimare in un robot? Se l'è chiesto, nel 1970, lo studioso giapponese di robotica Masahiro Mori, che ha tracciato un grafico dell'empatia verso i robot: cresce man mano che vengono resi più realistici, ma poi precipita se diventano troppo simili agli esseri umani. Il crollo dell'empatia è stato chiamato "zona perturbante": un sentimento di disagio verso qualcosa che ci appare familiare ed estraneo allo stesso tempo. Può succedere quando alcuni particolari sono molto realistici, come il viso, mentre altri stridono, come i movimenti meccanici. L'effetto è inquietante perché il nostro cervello va in confusione: ci identifichiamo con questo "essere", ma nel contempo avvertiamo qualcosa che ci respinge. «Un robot poco realistico è vissuto come un giocattolo. Ma se il suo realismo è quasi perfetto, subentra l'ansia» spiega Giovanna Morgavi, ingegnere e psicologa al CNR di Genova.

vicina grazie alle sue e-mail.
Il padre è l'ingegnere americano Douglas Hines, arrivato al progetto elaborando gli algoritmi di robot destinati all'assistenza sanitaria a domicilio. «Non sono solo macchine per il sesso: molti clienti vogliono qualcuno con cui parlare e noi cerchiamo di offrire amore e comprensione incondizionati» afferma Hines. I robot potrebbero davvero rivelarsi amanti perfetti: memoria impeccabile per ricordare anniversari e gusti del partner, disponibilità a ogni nostra esigenza, attenzione continua agli stati emotivi che esprime il nostro viso. Ma allora, ci si potrà innamorare di un robot? Chi dice di no sottovaluta la capacità di autoilludersi degli esseri umani.

AMORE PROGRAMMABILE. «Mossi dal bisogno di essere amati ci si può dimenticare che si ha di fronte una macchina» spiega Cheok. Già negli anni '60, un software progettato per simulare un colloquio psicoterapeutico, chiamato Eliza, teneva una conversazione terapeutica attraverso lo scambio di messaggi di testo, dando l'impressione di un medico premuroso. E nel tranello cadevano persino gli informatici, che sapevano perfettamente cos'era. Così si è scoperto l'"effetto Eliza", il fenomeno psicologico per cui a un computer vengono attribuite caratteristiche umane e più intelligenza di quanta ne abbia. Un'illusione in cui oggi è ancora più facile cadere: «Quasi tutti i fattori che portano a innamorarsi di qualcuno, come la sua personalità, sono programmabili in un robot» dice David Levy, ricercatore di intelligenza artificiale all'Università di Maastricht (Paesi Bassi). Levy è solo uno degli scienziati pronti a scommettere che diverse persone saranno disposte ad uscire con un automa. «Le relazioni sentimentali coi robot sono inevitabili» assicura. Pare sia solo una questione di tempo. E

Margherita Zannoni

Un robot per amico

Gli automi possono diventare compagni di gioco, di fatica, di cura. O badanti: ecco chi li sta già utilizzando. Con risultati sorprendenti.

Lyndon Baty, 17 anni, vicino al suo robot VGo a Knox City (Usa). Ha una malattia immunitaria che lo costringe all'isolamento: VGo gli permette di restare in contatto con i compagni di classe (nell'altra foto).

Nonna Lea, 94 anni: «Mr Robin è il mio angelo custode: controlla se mangio o dormo abbastanza, se il gas è aperto, se cado...»

Lea Mina Ralli, per tutti nonna Lea, a 94 anni è la prima anziana d'Italia con un robot come badante. Mister Robin, così l'ha battezzato, è blu, ha le rotelle, un collo lungo e, al posto della faccia, uno schermo da cui ogni tanto appare qualcuno in video-collegamento: il dottore, i figli, gli amici che, con un programma al pc, possono telecomandare il robot a distanza e muoversi per le stanze, come se fossero lì. «Quand'è entrato in casa, sono rimasta perplessa. M'aspettavo una specie di maggiordomo e mi sono trovata davanti questo coso, che non ha neppure le braccia. Invece, da quando c'è lui mi sento più sicura: bellissima invenzione».

UN BADANTE A LED. «È il mio angelo custode» racconta questa signora dallo spirito di una ragazzina. «Controlla ciò che faccio, osserva quanto dormo o se mangio abbastanza, vigila che vada tutto bene, per esempio che non resti il gas acceso, monitora la mia salute, registrando la pressione, e in caso d'emergenza, per esempio se s'accorge che sono caduta, lancia l'allarme». Dallo scorso ottobre nonna Lea sta sperimentando questa nuova tecnologia - sviluppata dal consorzio internazionale GiraffPlus - nella sua casa di Roma. «L'obiettivo è testare il sistema in un contesto reale e per un periodo continuativo, per vedere cosa funziona e cosa può essere migliorato, prima che sbarchi sul mercato» dice Gabriella Cortellessa, ricercatrice dell'Istituto di scienze e tecnologie cognitive del CNR e referente scientifica del progetto, finanziato per 3 milioni di euro dalla Commissione europea.

Una bella somma: la dimostrazione che i robot per anziani sono la partita su cui si gioca il futuro in una società che invecchia e dove il costo dell'assistenza domiciliare rischia di diventare insostenibile. «Abbiamo selezionato 15 anziani che vivono soli, con qualche acciacco ma ancora autonomi» prosegue Cortellessa. Nonna Lea, segnalata dall'Asl Roma A, è parsa subito una candidata ideale. Entusiasta e super-tecnologica. Ha un blog, una casella di posta elettronica e un profilo Facebook. Passa ore al computer scrivendo libri, racconti, poesie. «A 75 anni, rimasta vedova, mi sono iscritta all'università della terza età per acquisire un po' di dimestichezza con l'informatica». Con un carattere così aperto, affidarsi alle cure di un robot non è stato difficile, ma il sistema è accessibile anche per analfabeti digitali, come un elettrodomestico. «Si compone di un insieme di sensori ambientali e indossabili che raccolgono informazioni, le combinano grazie a tecniche di intelligenza artificiale e le trasmettono in modalità wireless a operatori sanitari e familiari, che in qualunque momento possono connettersi in telepresenza» spiega la ricercatrice. Per nonna Lea è stata la soluzione vincente. Non voleva saperne di lasciare la casa dov'è sempre vissuta per trasferirsi dalla figlia o, peggio, in un ospizio. «Sto bene qui, tra queste mura ci sono tutti i miei ricordi» spiega. Ma perché non prendere una vera badante? «Quella che avevo si ubriacava, ora non mi fido più. Se Mister Robin spazzasse in terra sarebbe perfetto, invece sono io che devo spolverare lui».

ORO, DORO E CORO. È così: i robot per l'assistenza sono un aiuto efficiente e fidato, ma non risolvono la maggior parte delle necessità di un anziano, come farsi il bagno, vestirsi o cucinare, mansioni

A sinistra, nonna Lea con il robot Mr Robin; nell'altra pagina, un anziano con il robot Oro a Peccioli (Pisa).

per svolgere le quali chiunque è più abile di una macchina. D'altra parte, lo scopo non è sostituire gli automi agli umani, quanto offrire servizi utili per migliorare l'indipendenza e la qualità della vita.
Ma prototipi all'avanguardia bussano alle porte. Per esempio, la Scuola superiore Sant'Anna di Pisa ha sviluppato tre sistemi robotici avanzati, in grado di interagire tra loro. Si chiamano Oro, Doro e Coro: uno fa il domestico di casa, l'altro il portiere condominiale e il terzo l'operatore esterno. Sanno fare un sacco di cose: portare il giornale o le medicine, gettare la spazzatura, fare shopping, accompagnare nelle passeggiate. Il trio è stato testato su 70 ultra65enni nel Laboratorio DomoCasa di Peccioli (Pisa), una casa dotata di sensori intelligenti. «Non pensavo si potesse arrivare a tanto: se chiedi a voce un bicchiere d'acqua, il robot va in cucina, lo versa e te lo porta, anche se c'impiega un po' di più» commenta Ellida Salvatori, pensionata di 67 anni che ha preso parte al progetto "Robot-Era". «È comodissimo per la spesa: basta fare la lista sul tablet agganciato al maggiordomo di casa. Questo la trasmette al robot esterno che si dirige nel negozio convenzionato, consegna gli acquisti al portiere elettronico che, a sua volta, li trasporta in ascensore. In un quarto d'ora hai le buste sul pianerottolo».
Con quell'aspetto amichevole e simpatico, gli occhioni che "parlano" in colori diversi e il sorriso di fabbrica, dopo un po' si finisce persino per scordarsi che sono solo un ammasso di chip. «Il robot diventa una presenza familiare. È meno invasivo di un estraneo, anche se l'aiuto è più limitato» dice Ellida. Nel 2015 è prevista la seconda fase di Robot-Era, in cui il sistema sarà testato in ambienti reali. Tuttavia, un sistema così ambizioso presenta ancora forti limiti. È ingombrante per un piccolo appartamento, e tanta tecnologia rischierebbe di finire a gambe all'aria per un tappeto o un gradino. Insomma, bisognerà attendere un altro po' perché si avveri la profezia che Bill Gates lanciò nel 2007. «Un robot in ogni casa» azzardò il boss di Microsoft dalle pagine di *Scientific American*, sostenendo che il mondo fosse sul punto di una terza rivoluzione digitale, dopo quelle di computer e cellulari. Nei laboratori di tutto il mondo è pronta a scattare una nuova generazione di automi: umanoidi, sociali, empatici. Il problema è che non sappiamo ancora bene cosa farcene. Tant'è che l'unico robot domestico che ha sfondato il mercato è l'aspirapolvere Roomba: non è di compagnia neanche un po', ma fa risparmiare tempo e fatica.

Ellida, 67 anni: «Per la spesa è comodissimo: ordini, e in un quarto d'ora hai le buste a casa»

BOT-THERAPY. Intanto, in altri contesti, non c'è miglior amico di un robot. Per un bambino autistico, per esempio, la relazione con un altro individuo può essere complicata. Giocare con un robot è più semplice. Così sono stati sviluppati dispositivi che stimolano le abilità sociali, sensoriali o cognitive. Insegnano al bimbo ad aspettare il turno nel lancio della palla, a imitare la gestualità o seguire i movimenti con lo sguardo. Esercizi che un robot può ripetere con infinita pazienza, con risultati migliori rispetto al solo intervento umano. Nella robot-terapia dell'autismo, ma anche Alzheimer, demenze, sindrome di Down, depressione, uno dei congegni che ha riscosso più successo è Paro. Sembra una piccola foca, il manto bianco e lo sguardo tenerissimo, ma sotto il pelo morbido batte un cuore hi-tech. «Funziona con le carezze» spiega Patrizia Marti, a capo ▶

A sinistra, Paro, il robot cucciolo di foca usato nell'assistenza agli anziani affetti da demenza. Sotto, il robot Robovie-II a Kyoto (Giappone): aiuta a fare la spesa.

del Laboratorio di robotica e tecnologie dell'apprendimento all'Università di Siena. «Reagisce alle coccole, sbatte gli occhi, muove la testa, fa le fusa; apprende dagli stimoli e cerca attenzioni se non le riceve». Paro è stato sperimentato su decine di anziani con demenza senile, con risultati sbalorditivi. «Tutti mostrano miglioramenti nella sfera emotiva e relazionale» dice Marti. «Persone che trascorrono gran parte del tempo in isolamento, senza interagire col mondo esterno, quando prendono in braccio Paro si destano. Sorridono, diventano affettuosi, parlano. In alcuni casi, il robot può diventare un'alternativa ai farmaci per contrastare ansia, agitazione o depressione».

È successo, per esempio, con G.P., un paziente a uno stadio avanzato di Alzheimer: aggressivo, violento, urlava sempre. «Con Paro si tranquillizzava, accettava di essere lavato, accudito e aiutato a mangiare, cosa prima impossibile senza l'uso di sedativi» racconta Marti.

Gli effetti terapeutici – come ha dimostrato l'ultimo studio del team senese, in collaborazione con l'Ospedale Santa Maria alle Scotte di Siena e la Residenza Le Ville di Porta Romana – non si ottengono con peluche robotici identici nell'aspetto, ma meno evoluti. È proprio merito dell'alta tecnologia di Paro. Così verosimile da sembrare un cucciolo vero, ma senza gli inconvenienti di un cane o un gatto: non sporca e non impegna, non puoi fargli male né può farti male. Una cura di dolcezza senza effetti collaterali. Tanto che in Giappone, dov'è nato, è offerto dal Sistema sanitario.

Con Paro, robot di foca che fa le fusa, gli anziani solitamente chiusi sorridono e diventano affettuosi, parlano

L'AVATAR. E i robot possono diventare un pezzo di sé. O meglio, l'alter ego. L'ha scoperto per primo Lyndon Baty, un ragazzo di 17 anni affetto da una patologia genetica rara che ha compromesso il suo sistema immunitario: Lyndon non può uscire di casa, né andare a scuola o frequentare i compagni, perché rischia di contrarre infezioni letali. Ma non s'è dato per vinto. E da Knox City, un paesino di 1.300 abitanti in Texas, con due strade in croce e neppure un semaforo, è diventato protagonista di una rivoluzione. Nel 2011 in classe ha mandato il suo avatar. Un piccolo robot, VGo, alto un metro e 20, con una microcamera in testa e un tablet da cui appare Lyndon, collegato via Skype. «Il primo giorno è stato disastroso, andavo a sbattere ovunque» ha raccontato Lyndon. Ma poi ha imparato a pilotare il robottino, grazie al quale può seguire le lezioni, seppur virtualmente, parlare con gli amici e commentare le partite di baseball della squadra del cuore. Non è come esserci di persona, ma è molto meglio dell'isolamento.

Dopo l'esperienza di Lyndon, altri bambini immobilizzati hanno seguito il suo esempio. Come Lexi Kinder della Carolina del Sud, 10 anni e una grave cardiomiopatia, che ha vestito il suo avatar da principessa. O Devon Carrow, nello Stato di New York, che soffre di allergia e frequenta le elementari come se stesse giocando a un videogioco.

A pensarci bene, un robottino così potrebbe far comodo in diverse situazioni. Lo sviluppatore di videogame Richard Garriott l'ha usato per permettere all'anziana madre di partecipare al suo matrimonio a Parigi, restando nella sua casa di Las Vegas. Il programmatore canadese Ivan Bowman ci va ogni giorno in ufficio, che dista quasi 2.000 km da casa, senza muovere un passo. Saranno i robot a regalarci il dono dell'ubiquità? E

Daniela Cipolloni

Due chirurghi (a sinistra) comandano i bracci meccanici del robot operatorio Da Vinci.

Operati dalle macchine

Anche se hanno 20 anni, i robot chirurghi non sono ancora maturi. Ai medici evitano sudori e tremori. Ma costano...

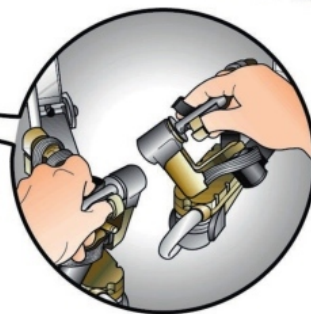
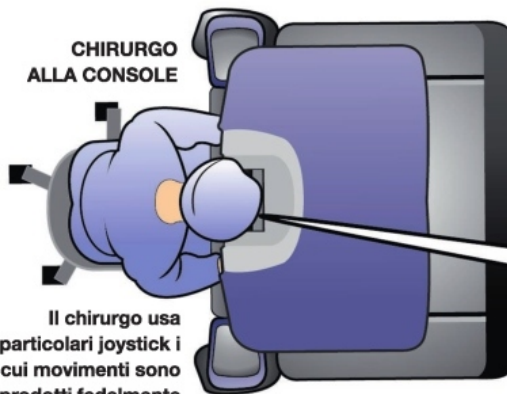
Non chiede i ferri, non impreca, nessuno deve asciugargli la fronte. Doveva semplificare il lavoro e migliorare i risultati della chirurgia mininvasiva, ma nonostante i 20 anni di età, oggi il robot chirurgo è ancora adolescente. In altre parole, la tecnologia non è ancora matura e gli scopi che si prefissava sono stati raggiunti solo in parte: ha ridotto la fatica del chirurgo al tavolo operatorio, ma non ha migliorato gli esiti degli interventi mininvasivi, tanto che negli Usa la FDA (Food and Drug Administration, ente di controllo su cibo e farmaci) ha appena aperto un'inchiesta per verificare la causa dell'aumento degli effetti avversi: dai reinterventi ai nuovi ricoveri.

TELECHIRURGIA. La chirurgia robotica è avvolta nel mito: "la macchina che funziona meglio dell'uomo". Ma se un robot è un sistema meccanico-elettronico in grado di elaborare dati e di procedere in modo autonomo secondo un programma, allora al tavolo operatorio si può parlare al massimo di telechirurgia, cioè di operazioni svolte con procedure elettroniche azionate da un chirurgo distante dal tavolo operatorio. Questi segue il campo operatorio su un video, e usa una speciale *console* per muovere i manipoli che azionano strumenti chirurgici simili a quelli degli interventi in laparoscopia e inseriti nel corpo del paziente (videoscopio con telecamera, pinze, forbici, elettrocoagulatore, suturatrice ecc.) attraverso piccoli fori, in alcuni casi ora addirittura ridotti a uno nella chirurgia monoporta. In altre parole, le apparecchiature computerizzate consentono di far giungere immagini e di muovere i bracci meccanici degli strumenti anche a migliaia di km di distanza. Ma il "robot" non opera autonomamente.

La storia della robotica in chirurgia è iniziata negli Stati Uniti nel 1985, ▶

Gli strumenti chirurgici hanno 7 gradi di libertà e imitano la destrezza del polso e della mano umani.

Il chirurgo usa particolari joystick i cui movimenti sono riprodotti fedelmente dagli strumenti operatori.

Il robot dà alcuni vantaggi al chirurgo, come la migliore visione del campo operatorio

con una macchina chiamata Puma 560 (Programmable Universal Manipulation Arm), della Westinghouse Limited: guidata da una tomografia computerizzata, consentiva al chirurgo estrema precisione, tanto da essere usata dapprima per le biopsie cerebrali, e 3 anni più tardi per la resezione transuretrale (passando dall'uretra) della prostata nelle iperplasie benigne (non tumorali). Ma, nonostante i risultati preliminari incoraggianti, l'azienda non proseguì le sperimentazioni, considerando lo strumento poco sicuro per l'uso medico.

A DISTANZA. Poi, nei primi anni '90 nacquero altre macchine con le stesse finalità: il Probot, sviluppato all'Imperial College di Londra e usato nell'urologia del Guy's and St Thomas' Hospital di Londra, e il Robodoc della Integrated Surgical Systems, usato in ortopedia per la chirurgia del femore e del ginocchio, entrambi approvati dalla FDA.
Sempre nei primi anni '90, l'Esercito americano strinse una collaborazione con lo Stanford Research Institute, che avrebbe dovuto fornire interventi di telechirurgia ai soldati feriti in azioni militari, per ridurre la mortalità bellica grazie a sale chirurgiche mobili, collegate in remoto con i chirurghi in patria. Ma il progetto non ha mai superato lo stadio della sperimentazione nei maiali.
Il progetto è ripreso in campo civile dalla Computer Motion di Santa Barbara, con la costruzione di Aesop (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), un braccio robotico che dirige una telecamera e risponde ai comandi verbali del chirurgo. Poco dopo arrivarono due dispositivi statunitensi per telechirurgia robotica: Da Vinci, della Intuitive Surgical, e Zeus, della Computer Motion. Il risultato più clamoroso di questo sistema fu ottenuto a New York nel 2001, quando al Mount Sinai Medical Center un team di chirurghi, grazie al sistema Zeus, eseguì una colecistectomia (asportazione della colecisti) in un paziente coricato sul letto operatorio a 7.000 km di distanza, a Strasburgo. L'intervento durò 45 minuti e passò alla storia della medicina con il nome di "operazione di Lindbergh", in onore del primo pilota che trasvolò l'Atlantico senza scalo; la paziente, una donna di 68 anni, fu dimessa dopo 48 ore. Sei anni prima, in Italia un'équipe di chirurghi dal Politecnico di Milano aveva fatto una biopsia prostatica su un paziente ricoverato in sala operatoria al Policlinico, a 5 km di distanza. Nel 2003, la Intuitive Surgical e la Computer Motion si fusero, Zeus sparì dal mercato e Da Vinci è rimasto dominatore incontrastato.

LUCI... Il robot offre alcuni vantaggi, soprattutto per il chirurgo. Li hanno riassunti Eugenio Santoro, chirurgo oncologo, e Vito Pansadoro, urologo, entrambi con esperienze pluridecennali alla guida

Sono 2.226 nel mondo: 60 in Italia

Quanti sono i chirurghi robot Da Vinci nel mondo? Poco più di duemila: 2.226. Quasi 3 su 4 sono negli Usa (uno ogni 195 mila abitanti). In Italia ne abbiamo 60, il maggior numero d'Europa sia in termini assoluti che relativi: uno ogni milione di abitanti. A quasi parità di numero, sono meno diffusi in Germania (59 robot, uno ogni 1,4 milioni di abitanti) e nel Regno Unito (25, uno ogni 2,5 milioni di abitanti).

MONITOR

COME FUNZIONA IL ROBOT DA VINCI.
Il chirurgo lavora a una console che comanda le braccia robotiche distanti dal tavolo operatorio, intorno al quale lavorano i suoi assistenti.

di reparti chirurgici di grandi ospedali romani, in un'analisi della chirurgia robotica in Italia pubblicata nel 2011 su *Updates in surgery*. Il robot chirurgo migliora la vista del campo operatorio; rende più precisa la coordinazione occhio-mano; elimina i tremori e aumenta i gradi di libertà degli strumenti chirurgici (la mano del robot si muove a 360°, con angolazioni che la mano umana non ha); consente al chirurgo una posizione più ergonomica, senza imporgli mascherine, guanti, cappello e camice chirurgico. Questi i vantaggi citati da tutti gli autori che hanno pubblicato analisi di interventi. Ma nessuno studio indipendente è mai riuscito a documentare vantaggi clinici per il paziente, anche se l'incisione è più precisa e le suture sono più facili e accurate.

... E OMBRE. Poi ci sono gli svantaggi, primo fra tutti il costo: il solo robot costa 2,7 milioni di €, cui se ne aggiungono 150-200 mila di manutenzione annuale e, a ogni intervento, circa 1.700-2.500 di materiale usa e getta. Fra le difficoltà tecniche c'è, per esempio, l'apprendimento: per rendere il gesto sicuro, il chirurgo deve avere molta pratica, ma in Italia la maggioranza dei robot chirurghi effettua meno di 150 interventi l'anno e solo 3 centri superano i 200. Inoltre, il chirurgo perde la sensazione tattile e la percezione della tensione, col rischio di causare la rottura di organi e tessuti.
Infine, il chirurgo robot allunga i tempi di intervento e quindi la durata dell'anestesia. Svantaggio, questo, che si acuisce in caso di emergenza: se il chirurgo deve passare dall'intervento in laparoscopia a quello a cielo aperto, deve prima smontare gli strumenti chirurgici del robot inseriti nel corpo del paziente, e questo ruba tempo prezioso.
Non a caso, alla fine del 2013 la FDA ha aperto una verifica, perché fra il 2011 e il 2012 gli effetti avversi segnalati (+34%) sono aumentati più degli interventi di chirurgia robotica (+26%); e non tutti gli effetti avversi sono segnalati.

IL FUTURO. Intanto la ricerca va avanti. Alla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa il team di biorobotica diretto da Paolo Dario sta studiando un robot miniaturizzato per la colonscopia computerizzata e per gli interventi sul colon: l'incisione richiesta per l'introduzione degli strumenti è di 1 cm (contro i 2,5 cm degli attuali sistemi monoporta). La Sofar di Lodi e il centro di ricerche della Commissione Europea puntano a produrre un altro robot, il Telelap, per competere con il Da Vinci. Il nuovo sistema dovrebbe abbattere i costi d'esercizio e dare al chirurgo più sensibilità tattile. Ma bisogna attendere gli interventi su una serie di pazienti per dire se renderà la chirurgia mininvasiva più semplice e sicura. E

Amelia Beltramini

Secondo alcuni studi, il chirurgo ha bisogno di lungo esercizio per fare pratica con i robot

Protesi, scheletri e cyborg

Comandare gli arti robotici direttamente col pensiero. Adesso si può.

Armature che fanno camminare i paralitici, robot per la riabilitazione, braccia meccaniche comandate con la forza del pensiero. Sono le punte di diamante della ricerca sui robot terapeutici, un settore che da 20 anni lavora per trasferire le tecnologie sviluppate in ambito militare o industriale all'assistenza dei malati. Le potenzialità sono notevoli: se n'è avuto un esempio il 12 giugno, quando il 29enne Juliano Pinto, paralizzato dal 2006 per un incidente, ha calciato per primo il pallone dei Mondiali, durante la cerimonia inaugurale. La performance è stata possibile grazie a un esoscheletro (un'armatura robotica) che ha eseguito gli ordini che il ragazzo, dopo mesi d'addestramento, aveva imparato a inviargli col pensiero. È questa la novità: in passato,

Claire Lomas, donna paralizzata da 5 anni, taglia il traguardo della maratona di Londra grazie a un esoscheletro "ReWalk" nel 2012.

dispositivi analoghi erano mossi da joystick o pulsanti. Il caschetto che Juliano aveva in testa, invece, eseguiva un elettroencefalogramma che registrava l'attività della corteccia motoria. Un computer nella parte posteriore del dispositivo decodificava i segnali, e un sistema di cavi collegati all'esoscheletro permetteva a quest'ultimo di muoversi, seguendo le intenzioni del ragazzo.

ADDIO SEDIE A ROTELLE? La dimostrazione è parte del "Walk Again Project", al quale partecipano 156 ricercatori di diverse nazioni diretti da Miguel Nicolelis, neuroscienziato della Duke University (Usa), convinto che la sua tecnologia «renderà le sedie a rotelle pezzi da museo». Il percorso tuttavia non sarà breve, perché, come spiega Marco Molinari che alla Fondazione Santa Lucia di Roma lavora su progetti analoghi, «gli esoscheletri sono ancora ingombranti, pesanti e poco maneggevoli. Vanno migliorati il design e il controllo, anche per instaurare una sintonia fra macchina e uomo che consenta a quest'ultimo di percepire il robot come parte di sé. Riguardo all'elettroencefalogramma usato da Nicolelis, poi, non tutti i comandi nervosi che ci permettono di camminare arrivano dalla corteccia. Il ▶

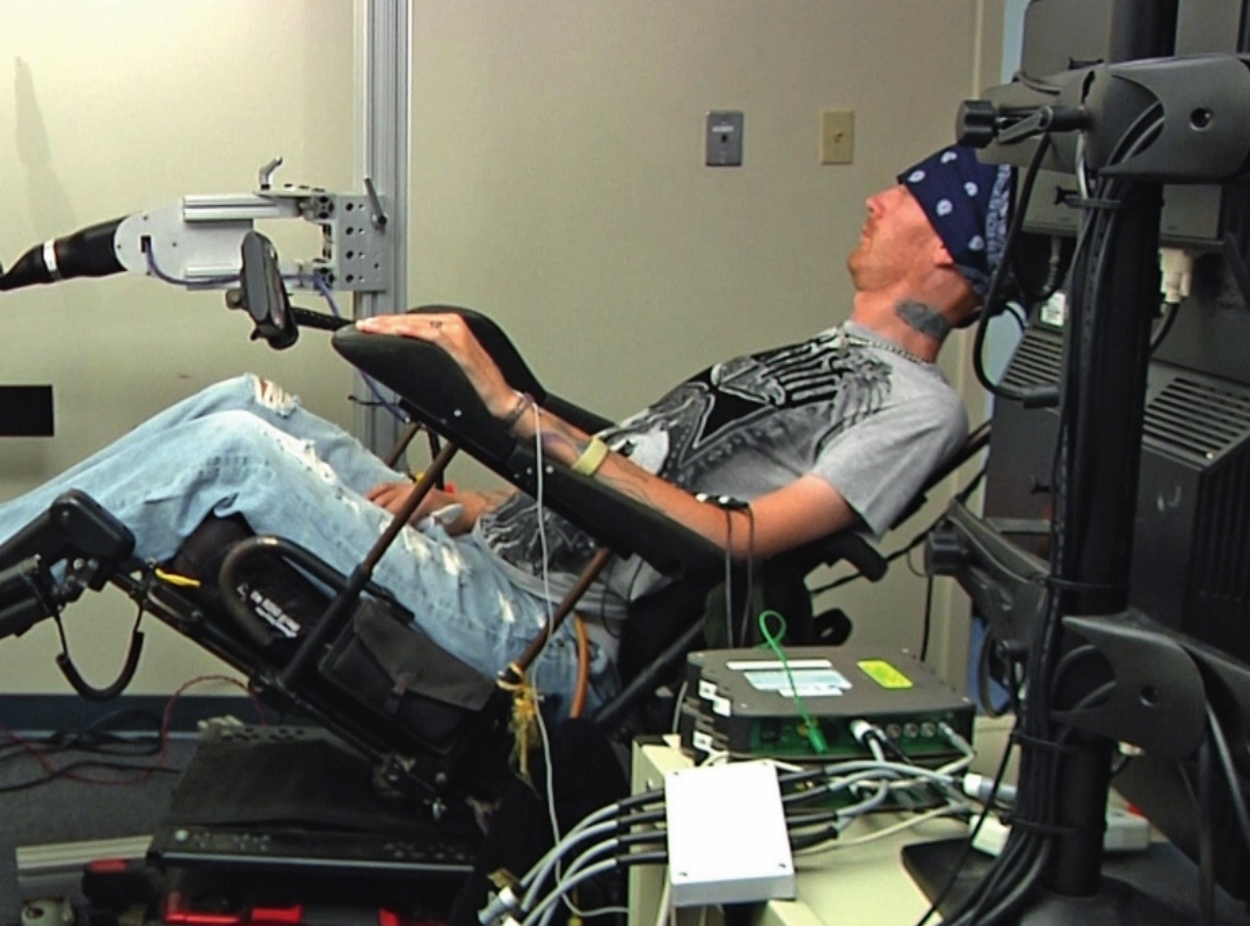
A sinistra: in alto, Neil Harbisson, affetto da acromatopsia, indossa una telecamera che trasforma i colori in suoni. Sotto, Jan Scheuermann mangia cioccolato grazie a un braccio robotico.

continuo adattamento della postura alle caratteristiche del terreno, grazie al quale non inciampiamo a ogni passo, dipende da riflessi che hanno origine nel midollo spinale oppure in altri centri nervosi: il caschetto non li coglie».

Lo sviluppo di interfacce cervello-computer affidabili resta l'obiettivo di molti scienziati, anche perché gli esoscheletri sono solo una delle possibili applicazioni. In teoria, infatti, la possibilità di accedere ai segnali del sistema nervoso centrale e di decodificarli potrebbe permettere di controllare dispositivi diversissimi fra loro, dalle protesi ai computer. E l'elettroencefalogramma non è il solo metodo per farlo; alcuni laboratori, infatti, usano elettrodi posizionati direttamente nel cranio con procedure neurochirurgiche (il cervello non ha recettori dolorifici). Ci sono pro e contro in ambo le tecniche: il casco esterno consente di monitorare aree cerebrali più estese, e questo è importante se i movimenti che le macchine devono eseguire sono complessi; gli elettrodi intracranici danno però un segnale più "pulito" e sono meno sensibili alle variazioni dei campi elettromagnetici dell'ambiente, come quelli dei cellulari.

L'ORECCHIO BIONICO. L'uso di sistemi artificiali che mettono in relazione il sistema nervoso con l'esterno non è una novità. L'applicazione più diffusa, dagli anni Novanta, sono gli impianti cocleari, che comunicano in senso inverso (inviano messaggi dall'ambiente al cervello, e non viceversa) e permettono di rimediare alle sordità determinate da disfunzioni della coclea, la struttura dell'orecchio interno che decodifica gli stimoli uditivi e li trasforma in impulsi nervosi. Gli impianti cocleari sono costituiti da un microfono che si applica dietro l'orecchio e da un dispositivo elettronico, posizionato internamente con un intervento chirurgico. A fine 2012 ne erano stati impiantati 324.200 in tutto il mondo.

CON LA FORZA DEL PENSIERO. Le interfacce cervello-computer, invece, sono state usate fino a oggi per muovere braccia robotiche separate dal corpo, oppure per fare alcune operazioni su computer. Dopo molti test su topi e scimmie, dagli anni Duemila i ricercatori hanno iniziato a testare questi dispositivi su persone che avevano perso l'uso delle braccia. Così, nel 2006 *Nature* pubblicava il caso di Matt Nagle, un ragazzo paralizzato dal collo in giù che, grazie a un chip dotato di 96 microelettrodi sottili come un capello impiantato nella corteccia motoria, aveva potuto afferrare oggetti con una mano meccanica, controllare le email al computer, cambiare canale alla tv. Qualche anno più tardi fu la volta di Cathy Hutchinson, una donna di 58 anni, paralizzata da un ictus, che grazie a un chip simile si fece servire un caffè da un braccio meccanico. L'anno scorso, infine, Jan Scheuermann, una tetraplegica 52enne,

Grazie ai nuovi traguardi in questo settore, chi è paralizzato riesce a scrivere email e usare telecomandi

Tim Hemmes, paralizzato da 10 anni per un incidente in moto, controlla un braccio robotico grazie a un'interfaccia cervello-computer sviluppata dal Centro medico dell'Università di Pittsburgh e dal laboratorio di fisica applicata dell'Università Johns Hopkins (Usa).

è riuscita a muovere col pensiero Hector, un arto robotico progettato all'Università di Pittsburgh, capace di compiere movimenti complessi e dosare la forza con precisione. Secondo Michael Boninger, capo dell'équipe che l'ha progettato, «entro 10 anni avremo protesi che potranno essere usate da pazienti che hanno perso l'uso delle braccia».

IBRIDI UOMO-MACCHINA. Intanto, però, alcuni laboratori stanno studiando protesi capaci di sostituire braccia e gambe amputati, comandabili dal sistema nervoso ma senza bisogno di caschi né di elettrodi intracranici: questi sistemi possono ricevere i comandi direttamente dai nervi che prima dell'amputazione muovevano l'arto, oppure dai muscoli del moncherino. A maggio, la FDA statunitense ha approvato la vendita del primo braccio robotico di questo tipo, Deka Arm: è controllato da un sistema che rileva l'attività elettrica dei muscoli della parte preservata dell'arto, e ha già permesso a una trentina di pazienti di bere da un bicchiere, prepararsi il cibo, spazzolarsi i capelli, aprire una zip.
Ma sono allo studio sistemi più sofisticati: in Italia, il gruppo diretto da Silvestro Micera, alla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, ha progettato LifeHand2, una mano robotica capace di afferrare gli oggetti, ma anche di percepirne la ruvidità, la consistenza e la forma: la regolazione naturale dei movimenti infatti si basa anche sulle sensazioni provenienti dalla mano. «L'obiettivo» spiega Micera «è sviluppare un sistema di controllo bidirezionale, che sfrutti sia i comandi motori del paziente sia gli stimoli portati dal sistema sensoriale». Il primo a sperimentare LifeHand2 è stato Dennis Aabo Sørensen, un danese di 36 anni, che aveva perso la mano 10 anni fa, per lo scoppio di un petardo a Capodanno. Dopo l'esperimento, durato 8 giorni, Dennis ha detto che «l'uso della protesi è simile a quello della mano naturale: la "sento" veramente quando la muovo».

GAMBA-ROBOT. Al Dipartimento di ingegneria meccanica della Vanderbilt University di Nashville (Usa), Michael Goldfarb sta invece progettando gambe meccaniche che possono sostituire quelle amputate a livello della coscia, dotate di giunzioni e motori capaci di riprodurre anche i movimenti del ginocchio e della caviglia. Esistono già diversi prototipi a controllo nervoso o muscolare, tutti dotati di un sistema di feedback che invia al cervello, in tempo reale, le informazioni sulla posizione delle articolazioni e dell'arto. Rispetto alle protesi tradizionali, quelle robotiche hanno permesso ai pazienti di camminare a una velocità maggiore, e hanno molto ridotto il rischio di caduta, un incidente piuttosto comune. Alcune consentono anche di salire le scale e camminare su terreni accidentati. E

Margherita Fronte

Riabilitazione più veloce ed efficace

Oltre a sostituire arti amputati, i robot potranno migliorare la riabilitazione. I robot hanno sensori che percepiscono le caratteristiche dei movimenti dei pazienti, e li guidano a eseguire il gesto corretto. Esoscheletri progettati a questo scopo (uno dei più avanzati è Lokomat) riescono ad accelerare il recupero neuromotorio, ed esistono guanti che stimolano elettricamente la mano per ripristinare i movimenti compromessi nei pazienti colpiti da ictus. All'Ospedale pediatrico Bambino Gesù di Fiumicino è invece in funzione il braccio Mit-Manus, che sfrutta la passione dei più piccoli per i videogiochi facendo loro eseguire esercizi mirati. Il sistema guida il movimento e i continui interventi correttivi attivano meccanismi che accelerano il recupero motorio.

I Kilobots, robot miniaturizzati low cost prodotti dall'università di Harvard: consentono di testare gli algoritmi collettivi su centinaia o migliaia di robot.

Ci sono 2 modi per far lavorare in gruppo i robot: con un computer che li controlla, o imitando le formiche...

Mezz'ora dopo il terremoto i soccorsi sono già in azione. Una squadra fa un controllo aereo del territorio per valutare i danni. Sul terreno, un'unità costruisce una diga di sacchi di sabbia lungo la costa in vista di un possibile tsunami. Intanto, un gruppo di volontari si dà da fare per scoprire se ci sono persone rimaste in-

L'unione fa la forza

trappolate sotto le macerie... Quando accade un disastro naturale, scene del genere sono consuete. Il discorso cambia se i protagonisti dell'intervento non sono uomini, ma gruppi di automi in grado di cooperare per raggiungere obiettivi complessi, come mettere in sicurezza un'area o salvare vite.

A oggi, va detto, nessuna pattuglia di robot è ancora capace di compiere imprese di questo tipo, ma in laboratorio sempre più spesso le macchine portano a termine missioni simili. Anche per i robot vale il motto "l'unione fa la forza".

DAL CALCIO AL PING PONG. Arrivare a realizzare robot di questo tipo non è semplice. Ancora alla fine degli anni '90, nelle prime edizioni della RoboCup (la gara di calcio fra robot nata nel 1997, *vedi articolo seguente*), i risultati erano deludenti. «Il primo anno andavano quasi a caso, ogni tanto trovavano la palla, non si coordinavano» ricorda Andrea Bo-

Per far collaborare più robot autonomi, ciascuno di loro deve seguire poche regole elementari

narini, responsabile del Laboratorio di intelligenza artificiale del Politecnico di Milano. Oggi è tutto diverso. «Ormai abbiamo robot in grado di rilevare con precisione sfera e porta, di scambiarsi informazioni, di fare gioco di squadra con strategie, di posizionarsi in maniera ottimale per un calcio di punizione o una rimessa laterale».
L'evoluzione non riguarda solo il calcio. I quadricotteri sviluppati da Raffaello D'Andrea dell'Istituto federale di tecnologia (ETH) di Zurigo, per esempio, sono in grado di galleggiare nell'aria compiendo in autonomia quei piccoli aggiustamenti di posizione che permettono di trovare una palla lanciata da un compagno e colpirla con la giusta forza indirizzandola nuovamente verso il partner. Il risultato, una sorta di ping-pong volante, dimostra le capacità di agire insieme raggiunte dagli automi grazie a sistemi di controllo sempre più sofisticati. I velivoli dell'ETH sono dotati di computer, sensori e trasmettitori wireless che comunicano con fotocamere sistemate sul soffitto del locale in cui si svolge la partita e collegate a un laptop. Le fotocamere localizzano oggetti dotati di punti riflettenti e insieme costituiscono una sorta di Gps. I dati raccolti da questo sistema di rilevamento della posizione sono inviati a un altro computer, che li elabora e trasmette le informazioni ai quadricotteri: così sanno dove sono e possono mettersi in posizione per palleggiare.

SACCHI DI SABBIA. Uno dei segreti che rende i velivoli di D'Andrea capaci di giocare assieme è la presenza di un'intelligenza esterna che agisce come un occhio superiore a beneficio dei singoli attori. Sistemi di questo tipo consentono ottimi risultati in ambienti chiusi, ma sono difficili da gestire all'aperto. Un filone della ricerca lavora per aprire nuove strade alla cooperazione tra esseri inanimati. Nel progetto H2SWARM, per esempio, guidato dall'Istituto di scienze e tecnologie della cognizione del CNR, si mettono a punto macchine capaci di costruire una barriera di sacchi di sabbia alta un metro, adattandosi al territorio e senza seguire un piano predeterminato. «Le applicazioni futuribili vanno dal pericolo tsunami alla contaminazione radioattiva, fino all'esplorazione di altri pianeti, tutte situazioni in cui ricorrere a esseri umani è troppo pericoloso» spiega Vito Trianni, ricercatore del CNR.
Gli automi impiegati in H2SWARM hanno forma cilindrica, 6 ruote in grado di farli spostare anche su terreni acciden-

Robot pinguini della tedesca Festo: sono autonomi, ma possono comunicare fra loro tramite sonar.

tati e un braccio meccanico per afferrare e spostare gli oggetti. Ma l'aspetto più peculiare è il modo in cui prendono le decisioni sulla costruzione da realizzare. A differenza dei quadricotteri svizzeri, non è previsto un sistema esterno che li aiuti con una visione di insieme. Le scelte su dove mettere i sacchi sono fatte da ciascun agente, sulla base di un algoritmo che interpreta solo le informazioni provenienti dall'ambiente circostante a lui più vicino. Insomma, tutti seguono le stesse regole («poche e abbastanza elementari» spiega Trianni), ma ognuno decide per sé adattandosi all'ambiente. Per esempio, per creare una barriera uniforme, i robot sono programmati per depositare i sacchetti dove ce ne sono meno: questo permette alla struttura di svilupparsi in lunghezza e in altezza in modo regolare.

L'INTELLIGENZA DEGLI SCIAMI. Un approccio caotico? No: è così che insetti sociali come formiche e termiti risolvono problemi complessi, come trovare la strada più breve tra due punti o costruire strutture migliaia di volte più grandi di loro. Senza un disegno prestabilito, ma solo attraverso le azioni autonome dei membri del gruppo. Nel riportare il cibo al formicaio, ad esempio, ogni formica lascia una scia di feromoni (sostanze biochimiche con funzioni di segnali) perché venga seguita dalle altre. I feromoni, però, dopo un po' evaporano. Così, le scie che segnano un percorso più breve hanno più probabilità di essere seguite da altre formiche prima dell'evaporazione, il che allo stesso tempo, rafforza il segnale ormonale sulla scia breve. In questo modo, gli insetti scelgono il tragitto più rapido senza una pianificazione, ma sulla base delle decisioni dei singoli.
Per molti ricercatori la collaborazione tra robot dovrebbe funzionare allo stesso modo. «L'idea generale è riprodurre in schiere di robot alcune caratteristiche dei sistemi naturali» spiega Marco Dorigo, co-direttore di Iridia, il centro di ricerche sull'intelligenza artificiale della Libera Università di Bruxelles, e padre della *swarm intelligence*, l'intelligenza degli sciami. Tra i vantaggi di questo approccio, secondo lo scienziato, ci sono la capacità di resistere a un errore (se si rompe un automa l'attività dello sciame continua), la scalabilità (il gruppo adatta il lavoro al numero degli agenti), la flessibilità (il fatto che si possa variare la quantità di attori impiegati a seconda dell'obiettivo perseguito).
Oggi il salto dagli insetti ai robot sembra meno lontano. Nel progetto Swarmanoid, coordinato da Dorigo, squadre di automi di "specie" differenti si auto-organizzano per recuperare un oggetto in ambienti ignoti. Macchine volanti monitorano il territorio inviando l'informazione sulla posizione dell'obiettivo, una volta localizzato, al resto della truppa. Agenti adibiti agli spostamenti su terra trasportano a destinazione il collega specializzato in arrampicata, il quale, con un po' di scalata, recupera il tesoro. Tutto questo, ancora una volta, senza un piano e senza un *deus ex machina*, un'intelligenza esterna che li coordini.

ALLARME TERREMOTO. Analogamente, sempre in tema terremoti, nell'ambito del progetto Prisma (di CNR ed Eucentre, il centro di ingegneria sismica di Pavia), si costruiscono quadricotteri dotati di videocamere che effettuino autonomamente la supervisione di un'area colpita da sisma. «Monitorare un territorio vasto non è banale: non tutte le zone hanno la stessa importanza» dice Antonio Sgorbissa, ricercatore al Dipartimento di robotica Dibris dell'Università di Genova. «I robot devono essere in grado di dividersi autonomamente gli spazi da controllare, tenendo conto della ▶

Gli automi del progetto Termes: riescono a costruire strutture simili alle piramidi maya.

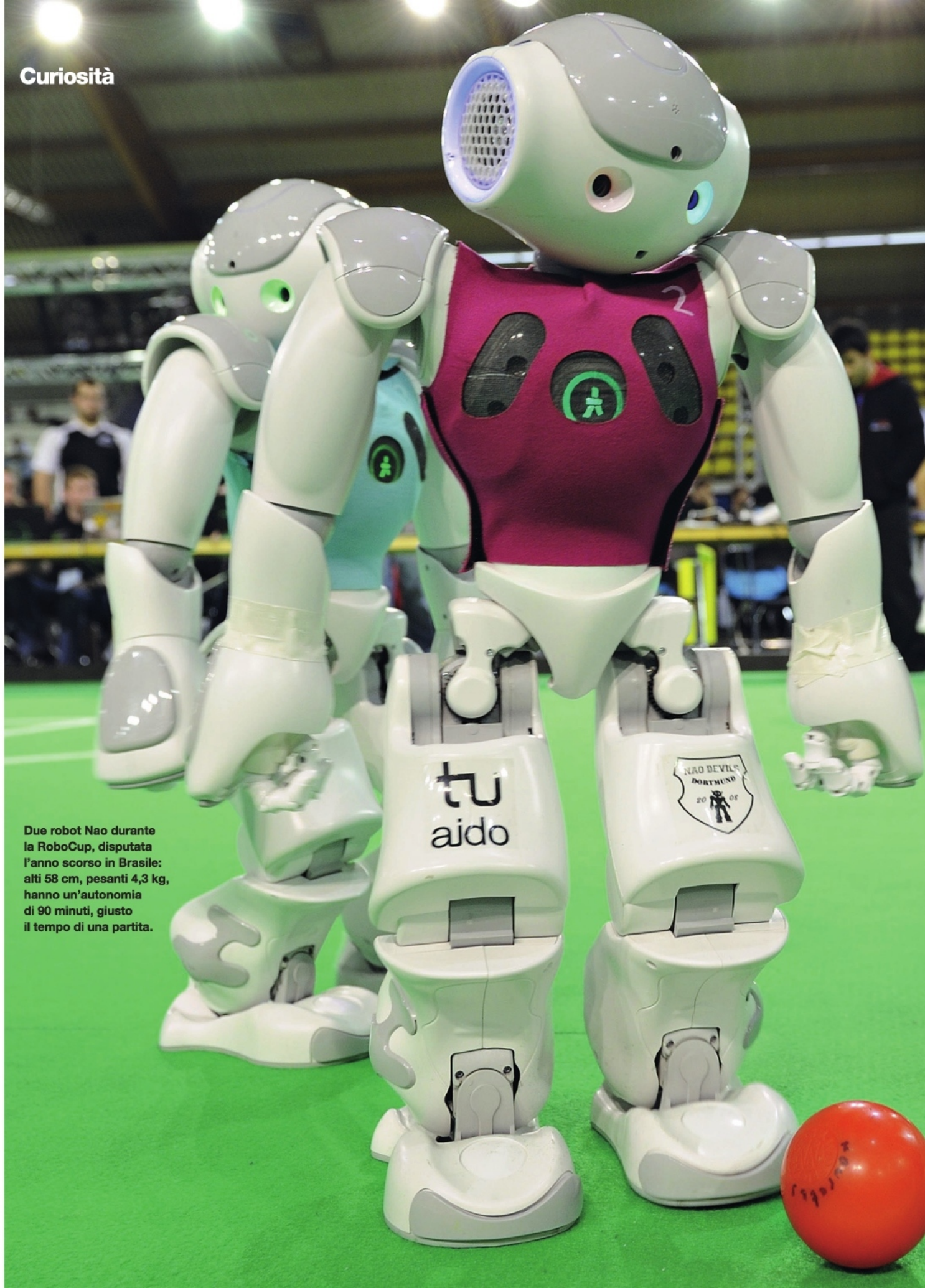
A sinistra, gruppo di Swarmanoid capaci di auto organizzarsi. Sotto, uno dei 4 quadricotteri del Politecnico di Zurigo (ETH) costruisce una torre alta 6 m: hanno trasportato e assemblato 1.500 mattoni in 4 giorni.

loro relativa importanza». Per esempio, spiega Sgorbissa, ciascun drone di Prisma saprà quanta parte di superficie di territorio coprire e terrà conto della posizione dei compagni per non sovrapporsi nel monitoraggio. Inoltre, grazie a sensori posti sul terreno, i quadricotteri riceveranno input su quali sono i luoghi più critici o più popolati e, sulla base dell'algoritmo, decideranno, ciascuno nella propria zona di competenza, su quali concentrarsi.

ARCHITETTI. Ma non si tratta solo di emergenze. Gli sciami sono in grado di cimentarsi anche in opere di architettura. Gli scienziati della Harvard University, per il progetto Termes, hanno creato robot capaci di dare vita a una costruzione complessa, ispirata alle piramidi a gradoni dei Maya. Gli automi, dotati di 4 ruote uncinate per consentire loro di muoversi anche in salita, sono lunghi 17 cm e capaci di trasportare mattoncini quadrati di dimensioni simili. Riescono nell'impresa grazie a un insieme di principi semplici: ad esempio, seguire il perimetro della struttura fino a che non si trova il "seme", ovvero il mattoncino iniziale che serve da base per la costruzione, poi salire sull'edificio lungo i percorsi a disposizione e infine posare il carico in ogni sede libera che soddisfi una serie di regole geometriche definite. Altre indicazioni possono riguardare il "traffico". Per evitare scontri e congestioni, infatti, le psuedo-termiti devono seguire il profilo della struttura sempre in senso antiorario. «Abbiamo provato a programmare un alto numero di agenti indipendenti, ciascuno con capacità limitate e in grado di raccogliere solo informazioni sull'ambiente a lui più vicino, in modo che riescano a costruire la cosa desiderata senza causare problemi agli altri o cacciarsi nei guai» racconta Justin Werfel, ricercatore al Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering della Harvard University.

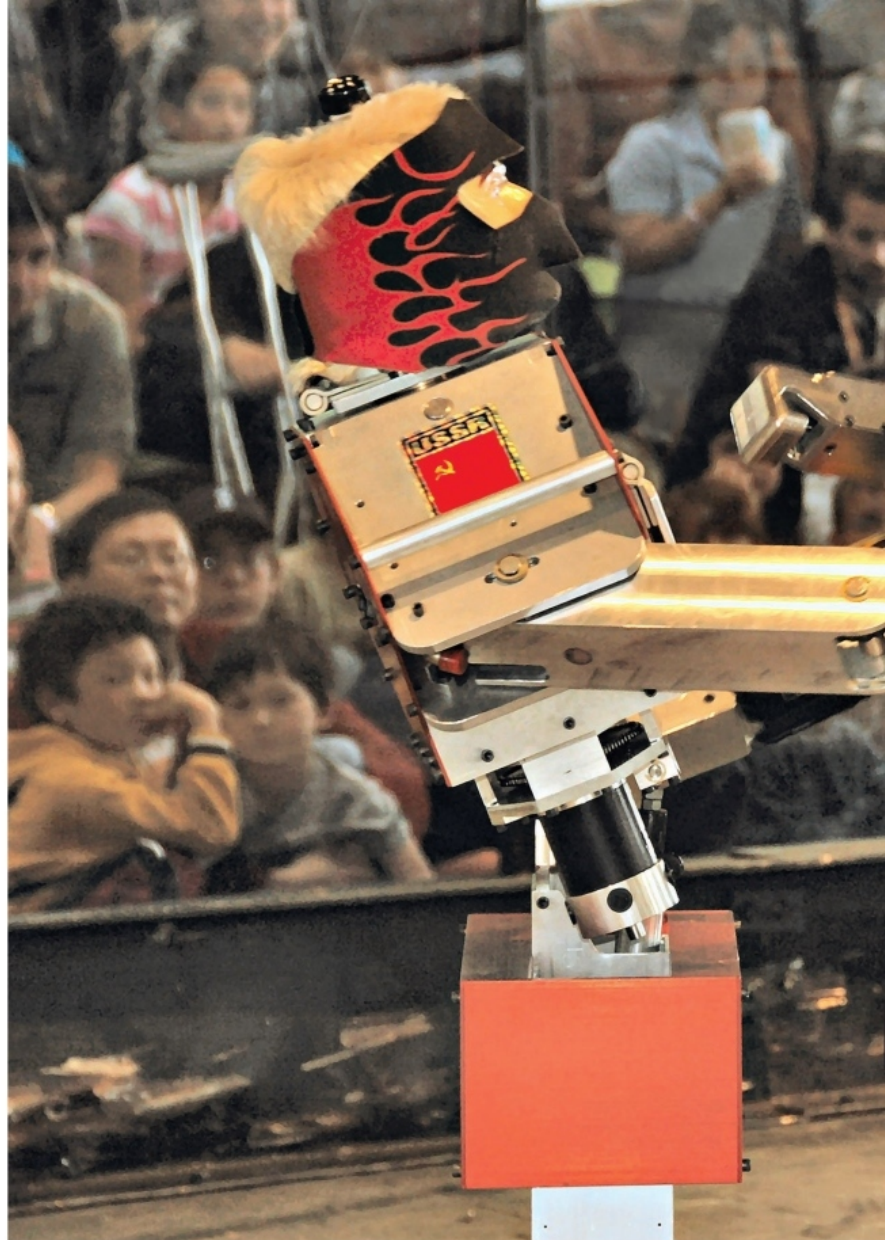
I robot che lavorano in team saranno usati per costruire strutture o per monitorare aree colpite da disastri

Resta ora da vedere quando gli sciami potranno uscire dai laboratori per lanciarsi nella vita reale. «Per strutture semplici come barriere di sacchi di sabbia contro gli straripamenti, possiamo aspettarci che sciami di robot saranno usati nel giro di alcuni anni» spiega Werfel. Per piramidi e grattacieli, invece, c'è ancora da lavorare. La prossima volta che c'è rischio alluvione, dunque, guardatevi attorno. Chissà che insieme ai pompieri non spuntino anche robot che ragionano come formiche. E

Raffaele Mastrolonardo

Due robot Nao durante la RoboCup, disputata l'anno scorso in Brasile: alti 58 cm, pesanti 4,3 kg, hanno un'autonomia di 90 minuti, giusto il tempo di una partita.

Atleti di lamiera

Dall'orientamento in un labirinto fino alla gestione di una centrale nucleare o di una miniera spaziale: così le gare fra robot hanno stimolato la ricerca.

Il robot della scuola Benilde-St. Margaret's (Usa): ha trovato la "vittima" di un disastro naturale alla RoboCup.

Le prime competizioni sono nate per promuovere la robotica. Oggi sono il banco di prova per nuove creazioni

Ha percorso l'accidentata superficie del Pianeta rosso, fra massi, crateri e asperità, riuscendo a prelevare vari campioni di roccia e a depositarli in un contenitore in soli 10 minuti. Così il robot "Marte", dell'Università dell'Alabama, si è meritato, oltre agli applausi di rito degli ingegneri aerospaziali, anche un assegno di 5.000 dollari. I soldi erano veri, ma la missione era una simulazione: rocce e buche erano state ricostruite ad arte in un capannone di Cape Canaveral, per la quinta edizione della Robotic Mining Competition, organizzata dalla Nasa per promuovere la nascita di nuove tecnologie di estrazione mineraria. Proposte che torneranno utili quando l'ente spaziale aggancerà nel 2016 un asteroide e lo porterà nell'orbita lunare per dar vita alla prima miniera spaziale.

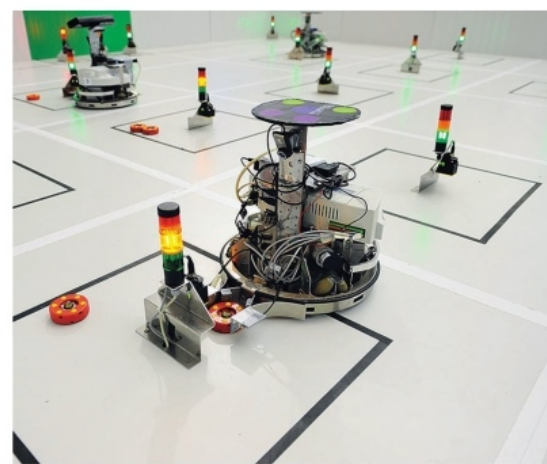
TOPI. Le gare fra robot si svolgono da decenni. E hanno radici antiche: nel 1950 Claude Shannon nei laboratori Bell della AT&T inventò Teseo, un piccolo robot a forma di topo in grado di imparare dai propri errori; liberato all'interno di un labirinto, sbatteva contro le pareti e provava tutte le strade possibili finché trovava l'uscita. Anni dopo, nel 1979, a New York, 15 ingegneri si sfidarono nella Amazing Micromouse Contest, con gli eredi di Teseo impegnati a trovare nel più breve tempo possibile l'uscita da un labirinto di 3 metri per 3. La gara dei topi elettronici dall'anno dopo si spostò in Europa e poi da lì arrivò in tutto il mondo, dove appassiona ancora oggi chi si cimenta con la robotica.

A Denver, nel 1989, all'interno della convention di fantascienza MileHiCon, dai topi si passò alle "creature che scricchiolano", con il Critter Crunch. Era la prima vera battaglia tra robot assemblati con pezzi di lamiera, ruote di tosaerba, interruttori e circuiti integrati, autorizzati a mettersi ko purché obbedissero a 11 direttive, scritte da un pool di ingegneri che si erano organizzati nel "Club degli Scienziati Pazzi". Le regole prevedono, ad esempio, la pedana di combattimento in legno, e stabiliscono le dimensioni e l'ali-

Match di boxe tra un robot russo e uno statunitense alla RoboGames: la sfida ricorda il film *Rocky IV*.

mentazione dei robot, le armi ammesse, oltre alle regole di ingaggio. Il primo vincitore fu Thing One, un aggeggio di 9 kg in grado di annientare i nemici con una bomboletta che sparava stelle filanti.
Oltre a ispirare show televisivi come *Robot Wars* o film come *Real Steel*, quel primo esperimento dal 1991 ha originato le "Robot battles", eventi itineranti negli Stati Uniti in cui le macchine si sfidano come fossero sul ring.

CANESTRI E PILE. «Le prime gare sono nate per promuovere la robotica, poi si sono diffuse tra gli studenti, dato che la robotica ha una grande potenzialità formativa» spiega Andrea Bonarini, coordinatore del Laboratorio di intelligenza artificiale e robotica al Politecnico di Milano. Risale al 1989 la creazione di First (associazione americana "per l'ispirazione e il riconoscimento di scienza e tecnologia"), che dal 1992 organizza gare per studenti delle superiori: devono costruire robot in grado di sfidarsi in giochi sempre più complessi, dal fare canestro con palloni da basket, al raccogliere e impilare enormi contenitori di plastica. Dalla palestra del New Hampshire in cui si svolse la prima volta, la manifestazione si è spostata nei palazzetti dello sport di tutto il mondo, arrivando a coinvolgere nell'ultima edizione quasi 250 mila ragazzi. «Le gare servono a dar loro uno stimolo e un obiettivo» prosegue Bonarini «perché il robot deve essere in grado di gareggiare in un giorno preciso e questo permette di focalizzare gli sforzi, oltre a formare e motivare i ragazzi: è come coinvolgerli in un progetto industriale, ma con vincoli ancora più forti, perché il progetto industriale spesso può essere ritardato, la gara no».

KUNG FU E DANZA. «In Giappone le gare sono nate negli anni '80» racconta Pa-

La squadra di Robotino, automa della Festo: grazie a sensori, si può muovere da solo trasportando oggetti e schivando ostacoli

Il robot Tartan (alto 1,64 m per 180 kg) attacca una manichetta antincendio a un rubinetto alla Robotics Challenge.

Il ministero della Difesa Usa mette in palio 2 milioni di dollari per chi svilupperà robot capaci di intervenire in caso di disastri

olo Dario, direttore dell'Istituto di BioRobotica della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa. «Non solo a scopo ludico, ma anche per mettere alla prova i risultati scientifici di una ricerca e valutarla con parametri oggettivi».
Affascinato da questo modo di insegnare, Dario creò nel 1992 a Pisa la prima sfida universitaria tra robot mobili: «Il limite per i robot che gareggiavano in un labirinto era costituito dal fatto che dovevano entrare in una scatola di scarpe». Dalle gare di quegli anni si sono poi sviluppate tutte le altre: dalla International Robot Olympiad, che l'anno scorso ha visto competere robot agricoli, alla RoboGames, dove si gareggia in 50 discipline tra cui corsa, salita di scale, kung-fu, fino all'italiana RomeCup, in cui le macchine devono danzare, eseguire azioni di recupero e altro ancora.
«Queste sfide sono tuttora molto importanti» aggiunge il professor Dario «perché la robotica lega il mondo della Rete con il mondo fisico, e insegna capacità manuali e tecniche ormai dimenticate a ragazzi abituati a vivere in un mondo sempre più virtuale».

APPLICAZIONI. Questi tornei talvolta sono tesi a risolvere problemi complessi, come lo sviluppo di robot autonomi in grado di gestire una centrale nucleare: è il caso della Iap Robotics Competition, organizzata dal Mit di Boston. Infatti, molte competizioni contribuiscono all'innovazione: «La tecnologia sviluppata per le gare viene poi riutilizzata» spiega Bonarini, che dal 2002 al 2010 è stato membro del comitato esecutivo di RoboCup, l'appuntamento nato nel 1997 con lo scopo di costruire entro il 2050 un team di automi in grado di battere la squadra campione del mondo di calcio. «Alcune tecnologie nate per quell'evento sono servite a realizzare altri robot autonomi, come una carrozzina per disabili in grado di portare la persona dove desidera, un veicolo senza guidatore, un robot accompagnatore per fiere e centri commerciali, e altri».

CASA E LAVORO. Ecco perché nel mondo sono sorte sfide sempre più ardue e costose, che richiedono la presenza di sponsor per ottenere dalla ricerca robotica risultati utili per applicazioni scientifiche, tecnologiche e pratiche.
Il Darpa, che sviluppa tecnologie per il Dipartimento della Difesa Usa, ha lanciato nel 2004 il Grand Challenge, per favorire lo sviluppo di automobili senza guidatore, e più di recente il Robotics Challenge, che a metà 2015 metterà in palio 2 milioni di dollari fra i team in gara con robot autonomi in grado di assistere l'uomo in caso di disastri.

Il robot quadrupede LS 3: può trasportare 180 kg di peso per 32 km, affiancando i soldati nelle marce su terreni difficili.

Eurathlon, ispirato dagli eventi di Fukushima, è il progetto europeo per far sfidare tra loro macchine capaci di sorvegliare il luogo di una catastrofe, raccogliere dati ambientali e identificare pericoli per l'uomo, mentre in altra direzione vanno i Centennial Challenges della Nasa, che mirano a incoraggiare lo sviluppo tecnologico utile alla ricerca spaziale, incluso quello robotico, come nel caso dello scavatore lunare. Le applicazioni future di questi *contest* possono essere le più varie: dai robot per la casa, come quelli che nascono da RoboCup@ Home, alle macchine in grado di svolgere compiti di lavoro (manipolazione, trasporto e posizionamento di oggetti), come quelle sviluppate nell'ambito di RoboCup@Work.

LOW COST. «Nei prossimi anni le gare aumenteranno: non solo per stimolare lo sviluppo di nuovi robot, ma anche per confrontarsi sul terreno della certificazione» afferma Andrea Bonarini. «L'Europa e l'Istituto americano per gli standard cominciano a considerare sfide realizzate con un rigore maggiore rispetto alle altre, proprio perché devono certificare le qualità dei robot che entreranno sul mercato». E le competizioni non saranno più organizzate solo da università o enti di ricerca, grazie alla diffusione di tecnologie a basso costo come sensori e componenti elettronici, sempre più semplici da assemblare e programmare. Una prospettiva resa possibile anche grazie a un'eccellenza italiana: la scheda elettronica Arduino con i suoi microchip a basso costo (la più semplice costa 20 €), creata ad Ivrea da Massimo Banzi, oggi è il cuore dei robot di moltissime gare che si svolgono nel mondo. E

Marco Consoli

Un mercato effervescente

Fino al 2016 la vendita di robot crescerà del 6% l'anno. Ma ancora non c'è un automa economico, utile a tutti e facile da utilizzare.

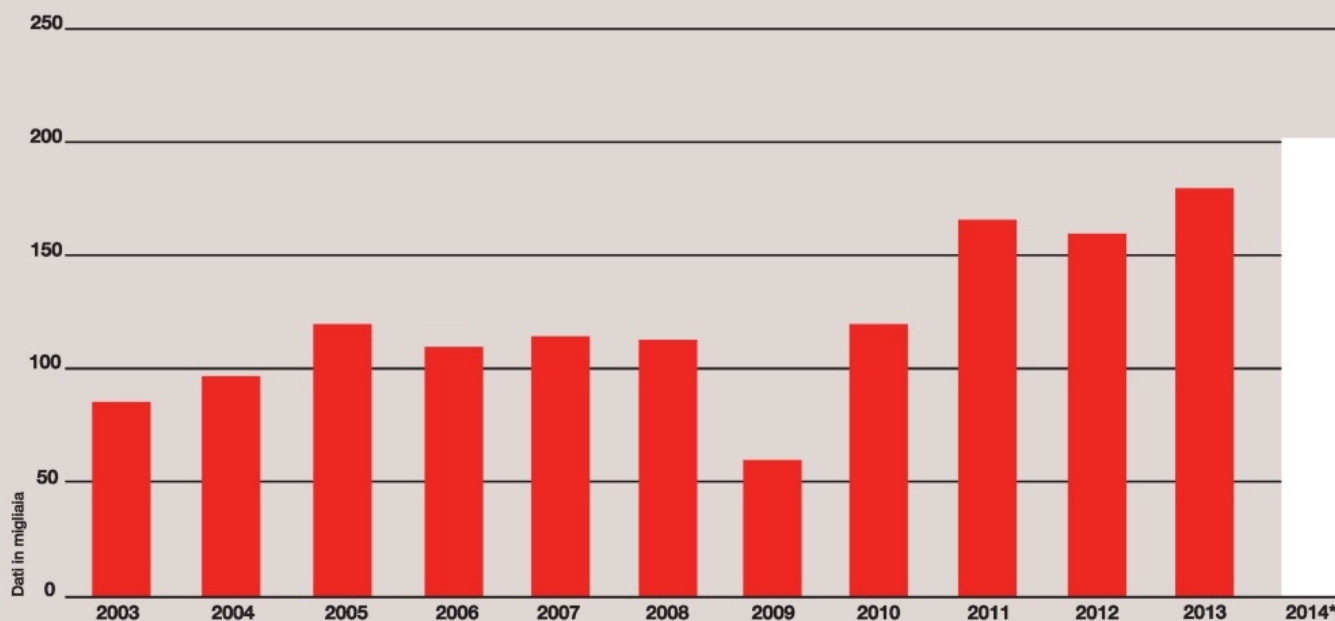
La robotica? Un'industria ricca e solida, che dagli anni Sessanta continua a crescere, a parte qualche occasionale battuta d'arresto. Anzi, una delle poche attività che hanno beneficiato della crisi degli ultimi anni, pur facendo affari in pochi settori e con pochi, grandi clienti. Un po' come era fino agli anni Ottanta l'industria dell'elettronica, che produceva solo enormi e costosissimi computer per governi e grandi società. I soldi veri iniziarono a girare quando il computer diventò un fenomeno di massa. Allo stesso modo, sono in tanti a scommettere che stia per aprirsi l'era del personal robot, e che i prossimi Bill Gates o Steve Jobs saranno... inventori di robot.

CINESI. Intendiamoci: di soldi nella robotica se ne fanno già parecchi. I robot industriali che vediamo all'opera nelle catene di montaggio saranno anche poco affascinanti, rispetto ai robot umanoidi e parlanti che ci aveva promesso la fantascienza. Ma si vendono: circa 179 mila l'anno, secondo i dati del 2013 (i più recenti elaborati dalla International Federation of Robotics), per un valore di circa 9,8 miliardi di dollari. E se contiamo tutti i servizi collegati (software, configurazione e progettazione della "cella robotica", manutenzione), la robotica industriale vale probabilmente tre volte di più.
Il mercato più ricco in assoluto è quello cinese, seguito da quello giapponese. Poi vengono Stati Uniti, Corea del Sud e Germania, di gran

Robot industriali: le vendite nel mondo

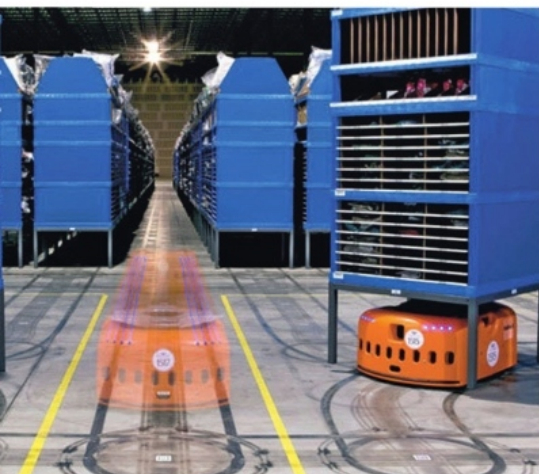
Dati in migliaia

250
200
150
100
50
0

2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014*

* previsioni. Fonte: IFR Statistical Department: World Robotics.

L'apertura della Borsa valori di Londra: diverse società della robotica sono quotate. Ed è nato un indice specializzato, il Robot-Stox.

Il robot Ray della Serva: all'aeroporto di Düsseldorf parcheggia le auto da solo.

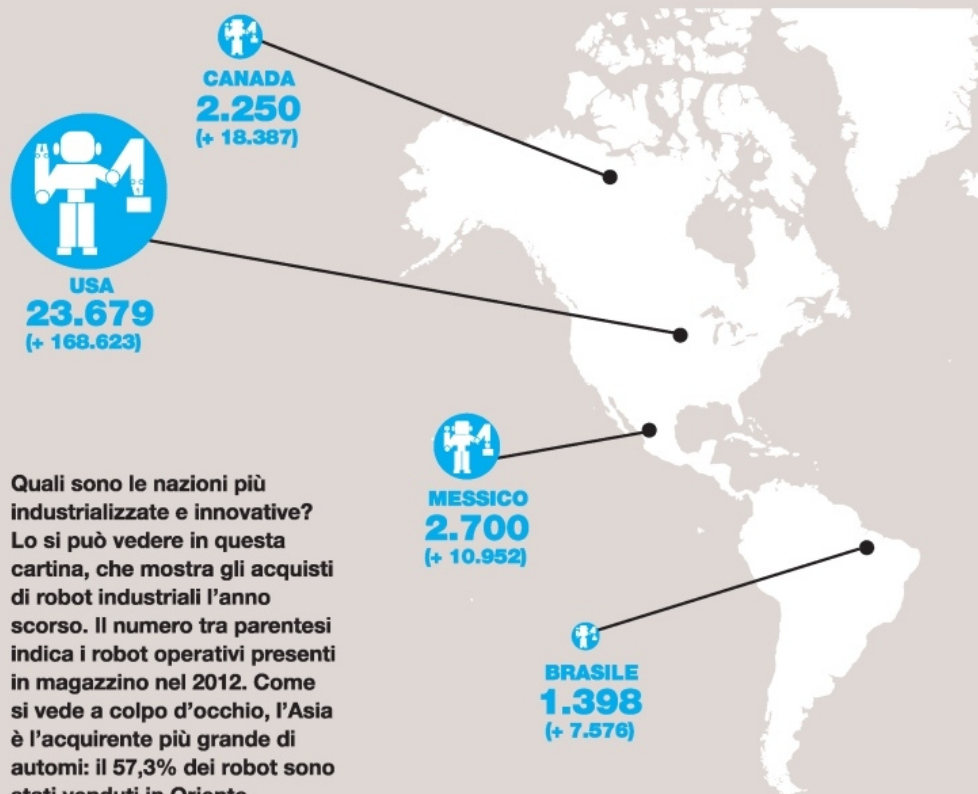
Il più grande acquirente di robot è la Cina, per le fabbriche di automobili e di elettronica

I robot della Kiva Systems comprati da Amazon per gestire i propri magazzini.

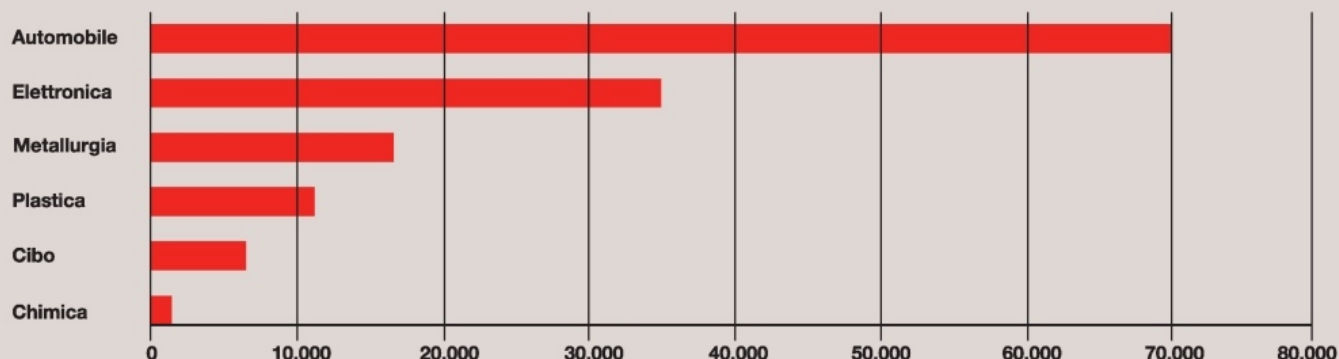
lunga il primo acquirente (e produttore) di robot in Europa. Il cliente principale è da sempre l'industria automobilistica, che da sola compra circa il 40% dei robot prodotti ogni anno. Il che non vuol dire necessariamente che se va male l'auto vadano male i robot. Anzi. La crisi dell'auto degli ultimi anni ha spinto i produttori a ristrutturare, cioè tagliare posti di lavoro e sostituirli con macchine, per rendere più efficienti ed economiche le catene di montaggio. E lo stesso è successo nell'elettronica, il secondo mercato per importanza. «Per la robotica l'effetto della crisi è stato positivo. Prima che iniziasse si vendevano circa 69.000 robot industriali l'anno» ricorda Gudrun Litzenberger, che dirige l'ufficio statistico della International Federation of Robotic (IFR). «Dopo il 2011 siamo passati a 160.000 l'anno».

ITALIA IN AFFANNO. Fa eccezione l'Italia, dove il mercato automobilistico arranca, ma cala anche la robotica. Si vendono circa 4.700 robot industriali l'anno, cifra che dal 2008 a oggi è scesa di circa il 2% l'anno. E sì che in fatto di tecnologia possiamo vantare una storia di eccellenza come quella di Comau, azienda di robotica nata negli anni Settanta all'interno del gruppo Fiat e cresciuta fino a una dimensione multinazionale. Oggi sforna circa 1.500 robot l'anno, una produzione di tutto rispetto ma molto al di sotto del leader europeo, la tedesca KUKA, che fornisce le fabbriche di Volkswagen e BMW. E che a sua volta non raggiunge i numeri dei grandi produttori giapponesi, che viaggiano sui 20 mila robot l'anno.

CRESCITA. Per il futuro, le previsioni parlano di una crescita continua: all'IFR si aspettano che da qui al 2016 le installazioni di nuovi robot crescano di circa il 6% ogni anno, con punte dell'8% in Asia. E proprio com'è successo negli anni Ot-

Robot industriali: chi li ha comprati

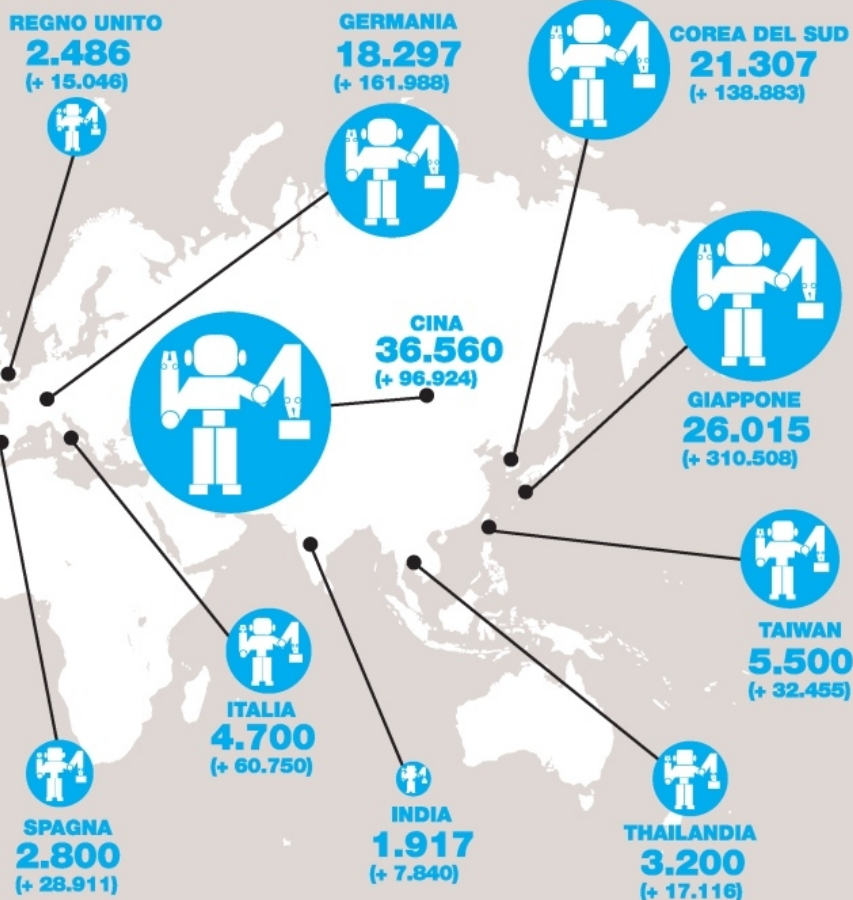
Quali sono le nazioni più industrializzate e innovative? Lo si può vedere in questa cartina, che mostra gli acquisti di robot industriali l'anno scorso. Il numero tra parentesi indica i robot operativi presenti in magazzino nel 2012. Come si vede a colpo d'occhio, l'Asia è l'acquirente più grande di automi: il 57,3% dei robot sono stati venduti in Oriente.

Fonte: IFR Statistical Department: World Robotics.

I settori in cui si usano i robot industriali

Gli acquisti di robot industriali per settore nel 2013: l'industria dell'auto è il più grande investitore del settore, seguita dall'elettronica.

Fonte: IFR Statistical Department: World Robotics.

tanta per l'informatica, i costi iniziano a scendere aprendo nuovi mercati. Un esempio è Baxter, un robot industriale low cost prodotto dalla statunitense Rethink Robotics, che per circa 25.000 dollari offre anche a piccole e medie imprese la possibilità di mettersi in fabbrica un automa e farlo lavorare accanto agli operai in carne ed ossa. Baxter non solo costa una frazione dei grandi robot industriali (che hanno prezzi di listino da centinaia di migliaia di dollari), ma è facile da configurare: basta guidargli i polsi per "insegnargli" il movimento che deve compiere. Storia simile quella di Universal Robots, casa danese che produce suoi bracci robotici low cost (22.000 dollari) progettati per lavorare accanto agli esseri umani (lo fanno già nello stabilimento Volkswagen di Salzgitter, in Germania), e che vanno alla grande: le vendite sono aumentate di 40 volte negli ultimi 4 anni.

Fuori da lì, nella cosiddetta robotica di servizio, i blockbuster si contano sulle dita di una mano. Ci sono i droni e gli altri robot per usi militari, un mercato da 840 milioni di dollari l'anno. C'è il robot chirurgo Da Vinci, della statunitense Surgical Robotics, che in 10 anni ha venduto oltre 2.200 pezzi (a 2 milioni di € l'uno) a ospedali di tutto il mondo.
Ma se parliamo di mercato "consumer", l'unico robot entrato davvero nelle case della gente è l'aspirapolvere Roomba prodotto dall'americana iRobot. Assieme ai suoi fratelli Scooba e Mirra (il primo lava i pavimenti, il secondo pulisce piscine), viaggia su fatturati oltre i 400 milioni di dollari l'anno. Un grande successo, ma isolato.

GLI ACQUISTI DI GOOGLE. Diversi segnali, però, fanno pensare che Roomba sia solo l'apripista e che l'era del personal robot sia dietro l'angolo. Lo deve pensare anche Google, che ha dedicato l'ultimo anno a fare shopping di aziende del settore. Ne ha comprate 8, per circa 100 milioni di dollari, e un'occhiata a cosa fanno quelle startup può dare qualche indizio su come Google vede il futuro della robotica. C'è Bot & Dolly, i cui robot dai movimenti precisi al millimetro sono stati usati per muovere le telecamere durante le riprese del film *Gravity*. C'è Boston Dynamics, che produce Atlas, un robot antropomorfo molto robusto, usato dai militari USA in

Il mercato si impennerà quando arriveranno robot dotati di manualità complessa

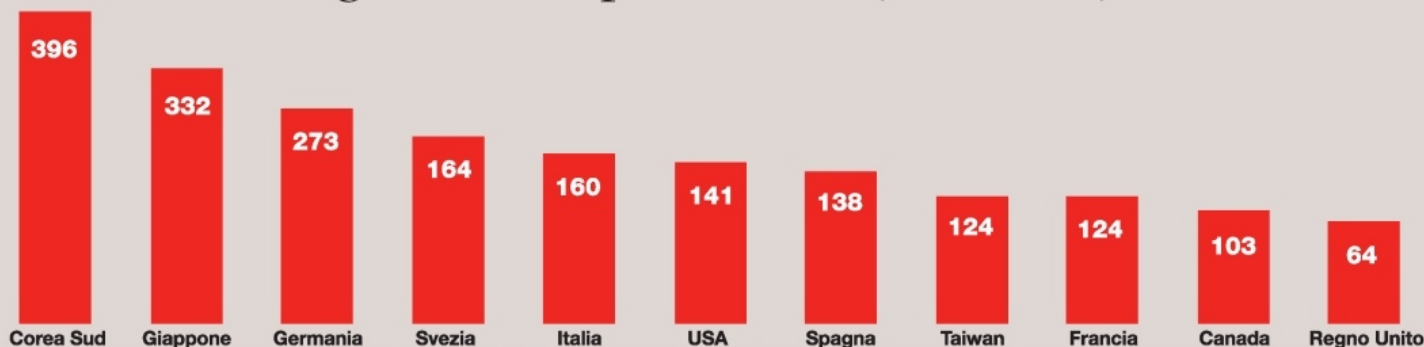
alcuni esperimenti di robotica sul campo (di battaglia, si intende). Per proseguire con Redwood Robotics, specialista nelle mani robotiche; Schaft che produce potenti attuatori elettrici, cioè "muscoli" robotici in grado di fornire rapidamente grandi quantità di energia, per esempio a un braccio meccanico. E così via. Tecnologie, più che robot completi.

Un braccio robotico industriale: i più grandi necessitano di aree isolate per non ferire le persone.

PRONTA AL BALZO. L'impressione è che Google voglia mettersi in casa i fondamentali (motori, pinze, gambe e ruote) per essere pronta quando salterà fuori un robot che sfondi sul mercato consumer. Secondo Bruno Siciliano, docente all'Università di Napoli e tra i maggiori esperti italiani di robotica, «la scommessa di Google Robotics è fare un robot "plug and play" (collega e usa, *ndr*), facile da usare, e farne un veicolo per vendere servizi basati sui suoi dati, come ha fatto con cellulari e tablet».

Le startup entrate nella scuderia Gogle sono la punta di una "primavera" di piccole aziende di robotica, spesso nate nei garage o nelle aule di università. Ce ne sono anche in Italia, anche se fanno più fatica a trovare fondi perché mancano magnati come Brin e Page: da Surgica Robotica a Verona che produce robot chirurgici low cost, a Hands di Milano che produce Adam, un "maggiordomo" robotico che abbina funzioni di sorveglianza e gestione a distanza degli elettrodomestici. Un fermento che, ancora una volta, ricorda da vicino quanto succedeva nei garage americani prima dell'esplosione del personal computer.

STIRARE E DIPINGERE. Cosa manca allora per arrivare al personal robot? Per capirlo, chiediamoci prima di tutto cosa dovrebbe fare. Spazzare i pavimenti è una bella cosa, e infatti Roomba vende molto. Ma ci sono tanti altri lavori che faremmo volentieri fare a una macchina. Stirare, mettere in ordine, montare mensole, dipingere le pareti, trasportare pesi, consegnare pacchi... Tutte cose

Quanti robot ogni 10 mila operai umani (anno 2012)

Fonte: IFR Statistical Department: World Robotics.

ancora fuori dalla portata degli automi. «Il collo di bottiglia non è l'intelligenza, sono le parti in movimento» chiarisce Siciliano. «Perché la robotica diventi pervasiva, bisogna prima risolvere questo problema».
È il paradosso descritto dallo psicologo Steven Pinker nel libro *L'istinto del linguaggio*: «La più grande lezione della storia dell'intelligenza artificiale è che i problemi difficili sono facili e i problemi facili sono difficili». Ovvero: si è rivelato molto più facile costruire computer che giocano a scacchi, guidano aerei o giocano in Borsa, piuttosto che macchine che cucinano o tengono in ordine il giardino. E non è la potenza di calcolo ciò che manca ai robot: sono le abilità manuali.

PIZZA. E qui c'è ancora molto lavoro da fare in termini di ricerca di base, che si fa per lo più con i soldi pubblici. La Commissione Europea ha finanziato progetti di robotica per circa 600 milioni di euro negli ultimi 7 anni. E il nuovo programma, che durerà fino al 2020, raddoppierà il budget, con la novità di mettere più in collegamento le imprese con le università e i centri di ricerca.
Con fondi europei, per esempio, Siciliano sta lavorando a RoDyMan, un tentativo di superare quei limiti che impediscono ai robot di svolgere compiti manuali complessi. «Le mani dei robot industriali odierni afferrano oggetti rigidi e li spostano. Ma molti compiti svolti dagli umani richiedono di manipolare oggetti mobili e deformabili, e in modo non prensile. È quello che facciamo con i tessuti, per esempio». O con gli alimenti: trovandosi a Napoli, al gruppo di Siciliano è sembrato naturale pensare a un prototipo di robot pizzaiolo, in grado di stendere la pasta, decorare la pizza, metterla in forno ed estrarla.
«Non investiamo 2,5 milioni di euro per levare lavoro ai pizzaioli» chiarisce Siciliano. «La pizza è un modo immediato per dimostrare la complessità dei problemi che dobbiamo affrontare per dare ai robot capacità operative simili a quelle umane».
Una nuova generazione di robot in grado di svolgere anche attività manuali di questo tipo aprirebbe un mercato immenso e difficile da prevedere, proprio come era difficile prevedere il mercato dell'Ipod o dei tablet. La tecnologia potrà inventare nuove applicazioni, creando allo stesso tempo un'economia completamente nuova. E

Nicola Nosengo

1.060

Il numero di robot ogni 10 mila operai umani nella industria automobilistica

33	23	20	8	2	1
Thailandia	Cina	Messico	Brasile	Russia	India

I lavori che si salvano (e quelli minacciati) dalla robotizzazione

Quali sono i lavori che corrono il rischio maggiore di essere rimpiazzati dai robot? Alla domanda hanno cercato di rispondere due esperti dell'Università di Oxford, Carl Benedikt Frey e Michael A. Osborne, in uno studio pubblicato l'anno scorso. La risposta è scioccante: usando complessi modelli probabilistici applicati ai 702 mestieri catalogati dal Dipartimento del Lavoro Usa, gli studiosi stimano che nei prossimi anni il 47% delle occupazioni sarà messo a rischio dall'informatizzazione. Ma ci sono anche mestieri che ne sono al riparo. La soluzione? Puntare, se possibile, su lavori specialistici e di alto profilo, e investire sulla propria formazione. Ma non basta, dice Luciano Floridi, docente di Filosofia dell'informazione all'Università di Oxford: i governi dovranno facilitare la ridistribuzione della ricchezza, aumentando le tasse sui consumi e diminuendo quelle sui salari.

MESTIERI SICURI
Terapisti ricreativi (0,2% di probabilità di automatizzazione)
Supervisori di meccanici (0,3%)
Direttori dipartimento di emergenza
Operatori per la salute mentale
Audiologi
Terapisti occupazionali
Tecnici ortopedici e protesisti
Assistenti sociali
Chirurghi maxillo-facciali
Supervisori di pompieri
Dietisti e nutrizionisti
Manager di hotel e alloggi
Coreografi (0,4%)
Ingegneri addetti al marketing

MESTIERI A RISCHIO
Addetti al telemarketing (99%)
Ricerca e inserimento di dati
Addetti alla tessitura
Matematici a indirizzo tecnico
Periti e consulenti assicurativi
Riparatori di orologi
Agenti di trasporto merci
Fiscalisti
Addetti ai processi fotografici
Consulenti finanziari
Bibliotecari
Ricambisti (98%)
Addetti all'ufficio reclami
Camionisti
Tecnici radiofonici

Google ha comprato molte società di robotica per essere pronta al mercato di massa

Washington, Usa: un drone durante un'audizione della commissione Giustizia del Senato, riunita per decidere come regolamentarne l'uso in ambito civile.

Le leggi (vere) dei robot

Le macchine diventano sempre più autonome. Allora di chi è la responsabilità se causano danni? È aperto il dibattito sui diritti e i doveri degli automi.

Il signor Rossi ha comprato un tosaerba automatico e lo accende per sistemare il giardino. Il robot si mette all'opera, mentre il signor Rossi legge un giornale sulla sdraio. Per evitare un vaso di fiori, il tosaerba finisce nel vialetto laterale, incrociando una ciclista in arrivo: la donna perde l'equilibrio, finisce a terra e si rompe una gamba. Chi è responsabile dell'incidente? I produttori del robot? L'incauta ciclista? O il distratto signor Rossi?

Lo scenario non è improbabile. I robot stanno rivoluzionando la nostra vita, ma aprono questioni inedite, sollevando discussioni tra filosofi, informatici e giuristi. Non sono disquisizioni astratte: dalle risposte che ne deriveranno, dipenderanno le scelte tecniche dei produttori di robot, i loro investimenti, e i costi a carico degli acquirenti.

CONSEGNE. L'anno scorso Jeff Bezos, fondatore di Amazon, ha annunciato l'intenzione di consegnare le merci fino a 2,5 kg di peso (l'86% del suo business) con una flotta di droni per i clienti che abitano nel raggio di 16 km dai magazzini. È il progetto "Prime air": visionario ma fermo al palo, perché le autorità Usa non hanno ancora regolamentato il volo dei droni civili (l'Italia l'ha fatto solo dallo scorso aprile). Ed è così in tutto il mondo: mesi fa un ristoratore indiano ispirato da Bezos, Mikhel Rajani, ha usato un drone per consegnare le pizze a domicilio, per evitare il traffico di Mumbai. Ma la polizia gli ha sequestrato il velivolo.

Sono gli effetti collaterali dei robot autonomi: una nuova generazione di macchine capaci di apprendere dall'esperienza e di adattarsi all'ambiente. «Fino a 15 anni fa, gli errori di un robot erano sempre errori di un programmatore: potevano essere identificati, isolati e corretti, e il programmatore era considerato responsabile per ogni ▶

Un'auto senza conducente: i pochi modelli in commercio oggi possono viaggiare al massimo a 20 km/h e solo in zone riservate: manca una cornice giuridica al loro uso.

Pizza a domicilio con un drone: l'idea è di un indiano. Ma la polizia gli ha sequestrato il velivolo.

errore della macchina» osserva Andreas Matthias, informatico dell'Università di Kassel, Germania. «Ma i nuovi robot, invece di eseguire un programma dalla prima all'ultima riga di comando, usano sistemi che cercano di trarre nuove deduzioni a partire da alcuni assiomi. I creatori di queste macchine non possono eliminare gli errori: anzi, devono permetterli, in modo che la macchina, procedendo per tentativi, possa adattarsi all'ambiente. Ma così le informazioni contenute in una macchina non possono essere rilevate, perché cambiano di continuo: le regole possono solo essere dedotte dal comportamento del robot, che diventa capace di autoprogrammarsi. Le macchine, ormai, agiscono fuori dall'orizzonte osservabile dei loro creatori».
Gli esempi sono infiniti. I sistemi di navigazione dei veicoli (dai droni alle auto senza conducente, fino ai robot spaziali), i programmi di indicizzazione per il Web, i computer che controllano la rete elettrica o gli ascensori dei grattacieli, sono tutti autonomi e capaci di adattarsi all'ambiente. E proprio per questo, l'imprevisto è sempre in agguato. Come insegnare a un robot a comportarsi in modo corretto e sicuro? «Dare una moralità ai robot è come pretendere di insegnare a una formica a cantare gli jodel» ammonisce Mark Tilden, progettista del giocattolo RoboSapien.

Il primo simposio sulla roboetica si è svolto nel 2004 per proporre una morale a chi progetta, produce o usa un robot

TUTELE E PROGRESSO. Ma le regole sono ormai necessarie, come aveva intuito Isaac Asimov con le leggi dei robot nel 1942 (*v. articolo sulla letteratura*). E l'Italia è all'avanguardia: Gianmarco Veruggio, responsabile dell'Ieiit di Genova, lanciò nel 2004 il primo simposio internazionale sulla roboetica. «Occorre rimodulare l'etica e la giurisprudenza per affrontare le questioni morali degli uomini coinvolti nell'ideazione, nella produzione e nell'uso dei robot» disse.
E oggi la questione è diventata stringente: «Se non si trova un giusto equilibrio fra le tutele degli utenti e la libertà d'impresa, si rischia di bloccare lo sviluppo tecnologico» avverte Erica Palmerini, giurista e coordinatrice di RoboLaw, un progetto internazionale di studi giuridici sugli automi coordinato dalla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa e finanziato dalla Ue con 1,5 milioni di euro. «Se tutti i costi dei danni o malfunzionamenti dei robot fossero a carico dei produttori, la ricerca si fermerebbe: nessuno si azzarderebbe a creare macchine autonome».
Un primo passo concreto è stata la creazione di standard internazionali, ovvero di requisiti stringenti a cui i produttori devono attenersi per garantire la sicurezza dei prodotti. Finora, ne esistono solo due: l'ISO 10218, per i robot industriali (istituito nel 2011), e da quest'anno l'ISO 13482 per i robot di assistenza personale (i bracci robotici connessi al sistema nervoso o i robot capaci di riconoscere i comandi vocali). Quest'ultimo - spinto dal Giappone dove i robot personali sono già diffusi - descrive i rischi associati all'uso di questi robot, e identifica come eliminarli o ridurli a un livello accettabile. Ma ancora nessuno ha regolamentato gli standard di altri robot già in uso: droni, auto senza conducente, robot militari, giocattoli.

KILLER. Per quanto riguarda i robot militari, l'argomento è delicato: quelli in grado di uccidere trasgrediscono la prima e più importante regola di Asimov. Ma in questo campo i pareri non sono unanimi. Secondo Ronald Arkin, del Georgia Institute of Technology, Usa:«i robot militari potrebbero risparmiare vite umane. Possono essere usati in modo da autosacrificarsi se necessario, e le loro decisioni non sono influenzabili da rabbia, frustrazione o pregiudizi. Dovrebbero, insomma, garantire la sicurezza, l'umanità, la proporzionalità nell'uso della forza». Ma Human Rights Watch e International Human Rights Clinic sono molto preoccupate dall'avvento di armi micidiali: come la "Cupola di ferro", sistema di difesa antimissile israeliano, capace di colpire razzi con una gittata di 70 km, o il robot sentinella SGR-1 della Corea del Sud, capace di identificare ▸

Il robot sentinella SGR-1, prodotto in Corea del Sud: è capace di identificare chi entra nelle zone militari. E all'occorrenza di sparare.

Corea del Sud
Ecco i doveri dei produttori

Sui doveri dei robot esistono molte dichiarazioni di intenti. L'ultima è la "Carta della roboetica" redatta nel 2012 dal governo della Corea del Sud, che prevede di portare un robot in ogni casa entro il 2020. Ecco che cosa prescrive ai produttori di robot:

1 L'autonomia dei robot deve essere limitata: deve essere sempre possibile per un uomo assumere il controllo di un robot.

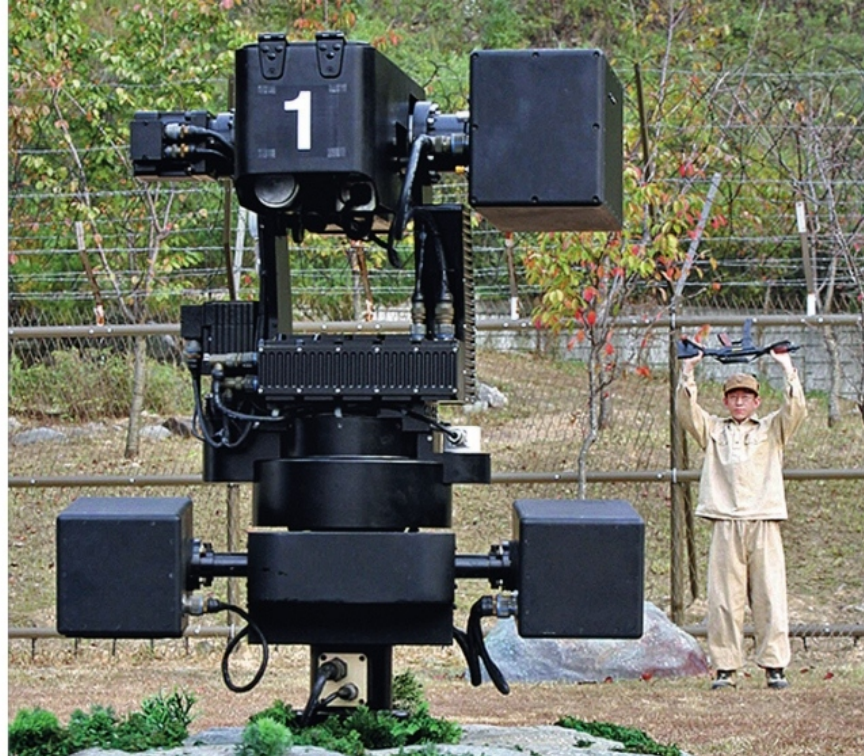
2 Occorrono standard stretti di controllo della qualità per ridurre al minimo il rischio di morte o ferite degli utenti.

3 Occorre ridurre al minimo i rischi di danni psicologici (comportamenti antisociali, depressione, ansia, stress e dipendenza) nell'uso dei robot.

4 I robot devono essere chiaramente identificabili come tali e non alterabili.

5 I robot devono garantire la tutela dei dati personali (criptandoli e memorizzandoli al sicuro).

6 Le azioni dei robot devono essere tracciabili in ogni momento.

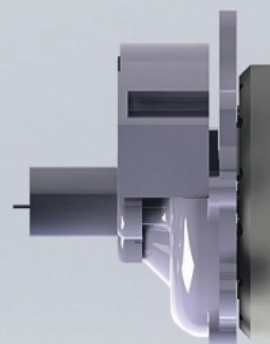
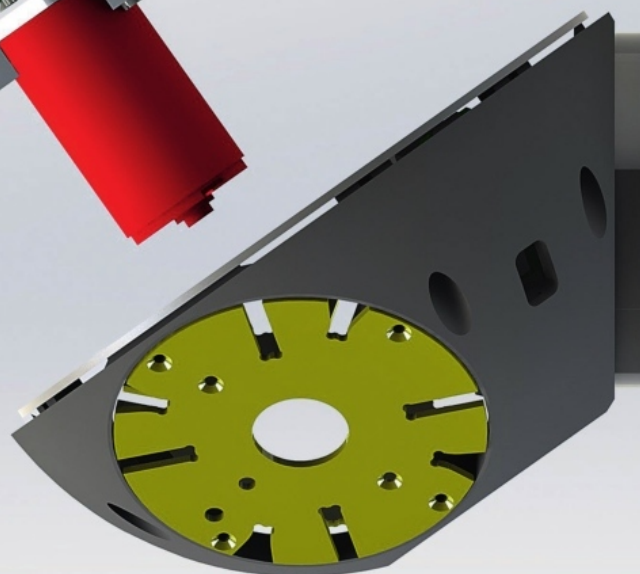
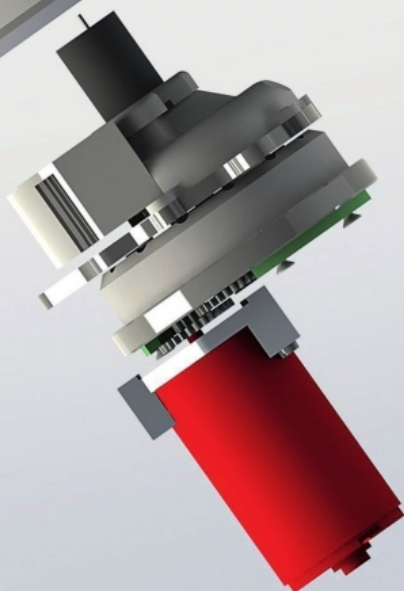
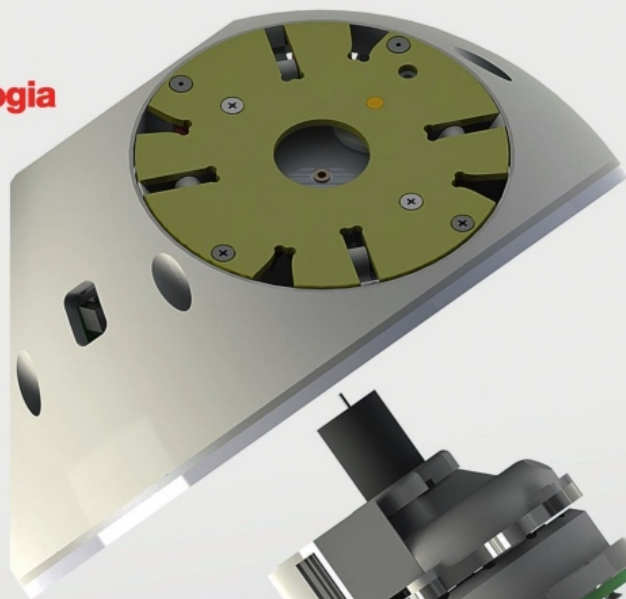
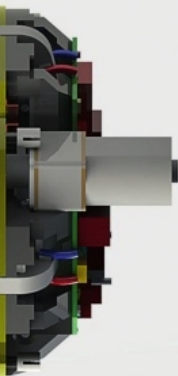
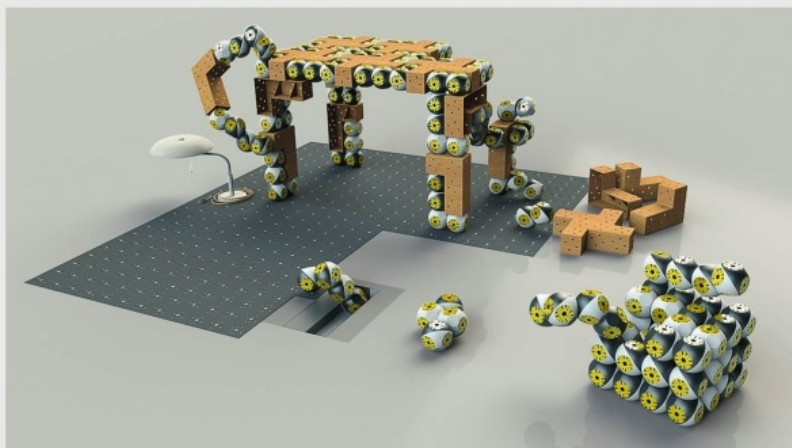
7 Il loro design deve essere ecologico e sostenibile.

Il progetto RoboLaw chiederà all'Europa di istituire un fondo assicurativo per le vittime dei robot

chi entra nelle zone militari (e di sparargli). «Le macchine non riescono a distinguere tra militari e civili né a riconoscere le intenzioni degli umani. Delegare alle macchine la decisione se sparare o no, elimina il fattore dell'empatia umana e della compassione» scrivono le due associazioni. Ecco perché propongono una soluzione netta: «gli Stati devono proibire per legge la produzione e l'uso di armi autonome, perché minano i diritti essenziali dell'uomo». Un'utopia?

CHIRURGHI. Più complicato il discorso sulle auto senza conducente, le protesi e i robot chirurgici. Chi deve pagare per i danni causati dal loro malfunzionamento? Per non caricare tutto il fardello economico sui produttori o sugli utenti, RoboLaw raccomanderà alla Commissione Europea la creazione di standard di sicurezza specifici per questi strumenti. E l'istituzione d'un fondo assicurativo obbligatorio, finanziato dai produttori, dagli Stati e dagli utenti finali, che possa coprire gli indennizzi in caso di incidenti. Nel caso, ancora più delicato, dei robot chirurgici, RoboLaw aggiunge due raccomandazioni: l'obbligo di un addestramento specifico per i medici, e l'istituzione di una "scatola nera" per ricostruire gli errori in caso di incidente. Ma come fare con i robot sociali, come il dinosauro Pleo o il cane Aibo? «Non è come avere a che fare con una lavastoviglie» dice Kate Darling, ricercatrice del MIT Media Lab di Boston, esperta in etica dei robot. «I robot non sono né vivi né inorganici: sono una nuova forma di vita, a cui tendiamo ad attribuire intelligenza e sentimenti. Ecco perché li vogliamo proteggere. È lo stesso coinvolgimento che abbiamo verso gli animali. Tanto che ad alcuni (cani, gatti, pappagalli) abbiamo garantito dei diritti: non perché abbiano un'anima, quanto per i sentimenti che proviamo per loro. Ci immedesimiamo in loro e non vogliamo che soffrano. Come diceva Immanuel Kant: se trattiamo gli animali in modo disumano, diventiamo disumani a nostra volta».

FIDO. Le conseguenze giuridiche le ha tratte Enrique Schaerer, avvocato californiano: «I robot autonomi sono come i cani ben addestrati: il loro comportamento è prevedibile, ma non sempre. Perciò i produttori di robot devono informare gli acquirenti su tutti i possibili rischi e sugli usi impropri. A quel punto, escludendo i difetti di fabbricazione, le responsabilità ricadranno sul proprietario del robot, così come sui padroni dei cani: i danni dipendono da un omesso controllo, fino a prova contraria». Così da domani il signor Rossi vigilerà sempre su Fido, pardon: sul suo tosaerba. E

Vito Tartamella

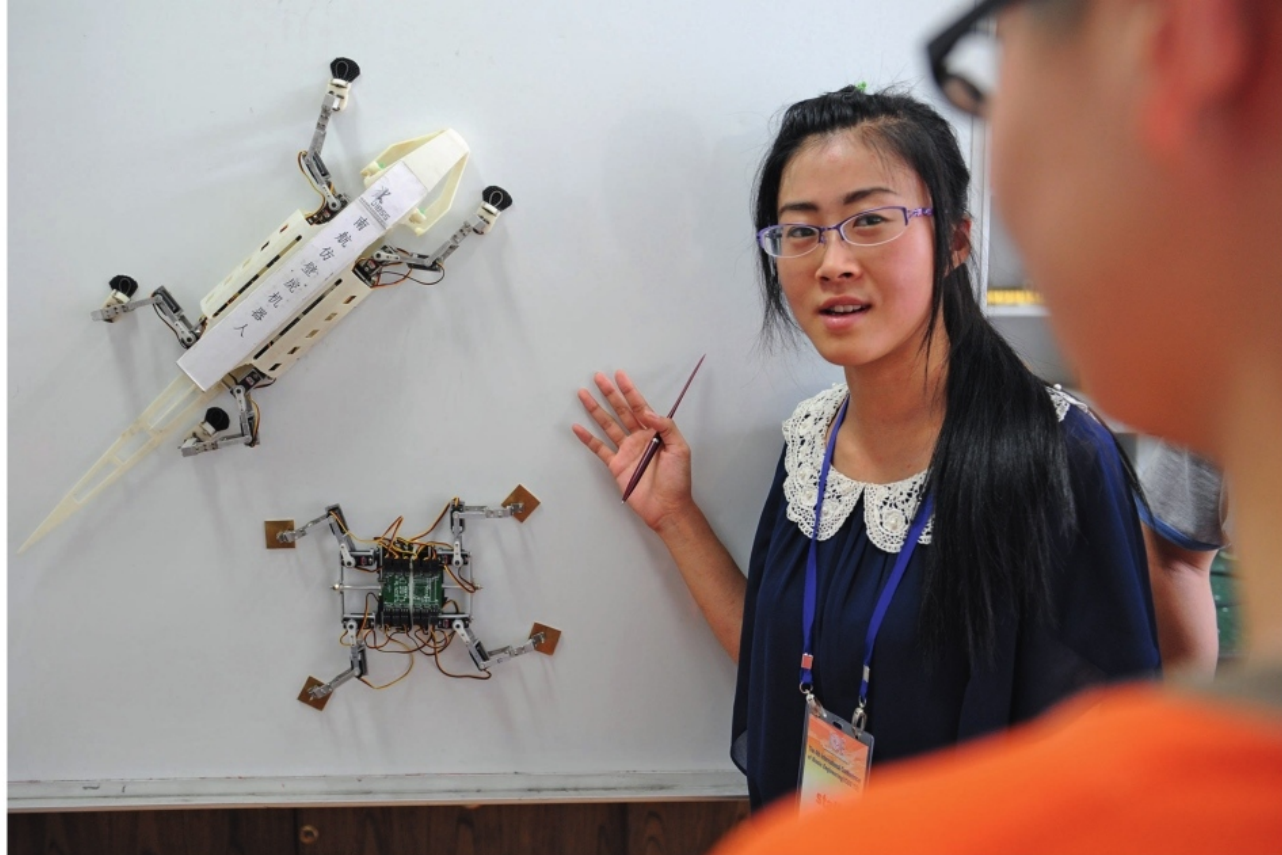
NUOVO FOCUS.IT
SEMPRE CON TE.
zampediverse
Focus.it
Un buco nero estremamente vivace

I pezzi di Roombots, robot modulari del Laboratorio di biorobotica di Losanna (Svizzera): possono unirsi creando ad esempio tavoli, sedie, lampade e altri arredi.

Penetrano nel terreno alla ricerca di elementi rari, di acqua e di nutrienti. Scambiano informazioni tra loro e hanno sensori per l'acqua e l'umidità. Come le radici delle piante, sono organismi quasi autonomi. Non stiamo parlando di alieni venuti da chissà dove, ma di robot che verranno: i Plantoid, studiati al Centro di micro-biorobotica dell'Istituto Italiano di Tecnologia a Pontedera (Pisa), sono ben diversi dai robot industriali o dagli androidi. Somigliano a un albero con tronco e rami, se si eccettua il loro cuore elettronico alimentato da pannelli solari.

AMBIENTATI. I robot del futuro prenderanno spunto da entità che hanno alle spalle miliardi di anni di ricerca e sviluppo: gli esseri viventi. «I robot dovranno interagire pesantemente con l'ambiente esterno, e questo ambiente è molto ricco e non definibile in modo determinato» dice Stefano Nolfi,

I robot del futuro

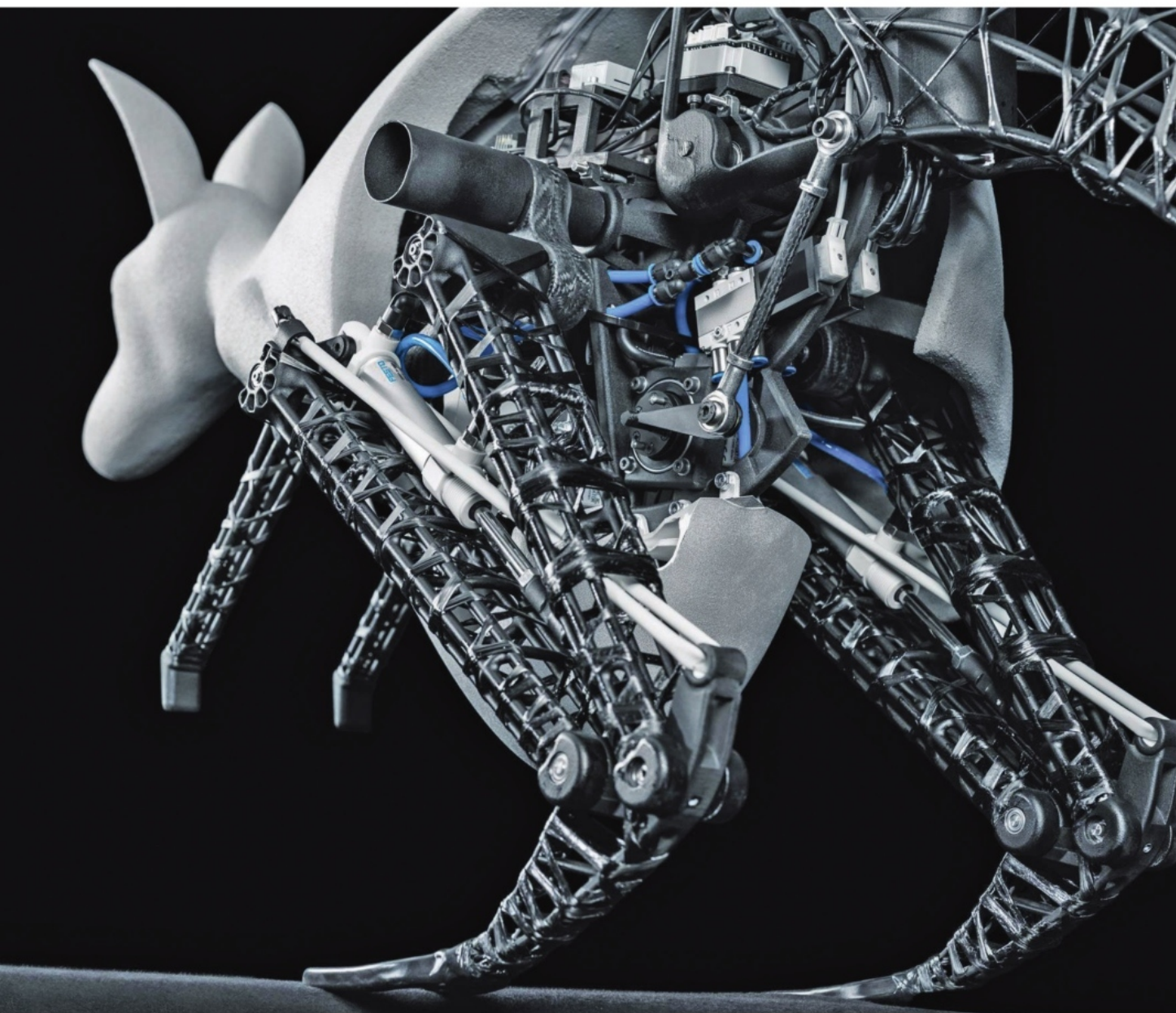
Minuscoli, soffici, capaci di imparare e di lavorare in gruppo, modulari... La nuova generazione di automi sarà molto diversa. E l'uomo sarà sempre più simile a un cyborg.

direttore di ricerca del Laboratorio dei robot autonomi e della vita artificiale del CNR, uno dei massimi esperti mondiali di "robot evolutivi". Per questo si prende spunto dagli esseri viventi.

PESCI E GECHI. Le loro forme saranno diverse da quelle che conosciamo. Dice Illah Reza Nourbakhsh, docente al Robotic Institute della Carnegie Mellon University a Pittsburgh, Usa: «Oggi i laboratori vantano una vasta collezione di forme che ricordano la straordinaria diversificazione dei viventi avvenuta nel Cambriano», cioè 540 milioni di anni fa, quando nacquero le strutture biologiche "di base". Ecco quindi pesci, serpenti, gechi, microinsetti robotizzati in grado di camminare su terreni accidentati... «In futuro avremo robot con corpi, e programmi, del tutto diversi secondo le esigenze e i contesti in cui saranno usati, ma perfettamente integrati l'uno con l'altro» prosegue Nolfi. ▶

Sopra, un robot-geco creato dall'Università di Nanchino (Cina). A destra, i pesci robotici creati da Raymond LeGrand e Paul Phamduy, del Politecnico di New York.

Il robot canguro della tedesca Festo: può saltare fino a 40 cm d'altezza e 80 di lunghezza.

MORBIDEZZA. Un'altra caratteristica dei nuovi robot è la "morbidezza": il nuovo approccio è definito *soft robotics* (robotica morbida). Andrew Marchese, del Dipartimento di ingegneria elettrica e Computer Science del MIT di Boston, ha creato un robot a forma di pesce, delle dimensioni di una trota, che si muove come un animale acquatico, ma, a differenza di altri pesci meccanici, ha snodi morbidi che gli permettono di sopportare i colpi che riceve.
Se in acqua si copiano i pesci, sulla terraferma gli animali dominanti sono gli insetti; ecco come è nato iSprawl, uno scarafaggio robot progettato da Sangbae Kim, del Center for Design Research dell'Università di Stanford, che cammina con 6 zampe e riesce a raggiungere i 2,3 m/s (8,3 km/h). I "robot morbidi" non sono fatti di materiali rigidi ma di fluidi, gel, polimeri e altri composti deformabili, che non fanno danni quando interagiscono con gli uomini, e possono penetrare più facilmente nella sabbia e nel fango. La morbidezza è la qualità ideale quando il robot è usato a scopo di soccorso; nel trasportare un ferito non si correrà il rischio di colpirlo con rigide superfici d'acciaio.
Anche l'esplorazione di ambienti pericolosi potrà giovarsi dei nuovi biorobot: serpenti flessibili potranno entrare in una centrale nucleare con più facilità di un umanoide. Avranno molti più "gradi di libertà", cioè un numero di motori e articolazioni che permettono di adattarsi all'ambiente in modo flessibile.

MODULI. Dopo il robot morbido e biologico tutto d'un pezzo, il passo successivo è frammentarlo, proprio come gli esseri viventi, divisi in cellule. E arrivare ai robot modulari, costituiti da parti singole che si uniscono tra di loro attraverso punti di attacco. Ognuno di essi è molto più piccolo dei classici robot: in futuro potrebbe essere microscopico e formare le strutture più diverse. Serpenti, sfere, blocchi che rimodulano la loro forma se devono entrare in uno spazio stretto, rotolare o resistere a urti o colpi.
Gli esempi sono decine: come Molecubes, una serie di cubi programmabili di 6

cm di lato, ideati dal Creative Machines Lab della Cornell University (Usa): si possono connettere fino a formare piccole strutture mobili. O i Roombots, progettati nel Laboratorio di biorobotica della Scuola politecnica di Losanna, in Svizzera: i blocchi, 10 cm di lato, possono creare tavoli e comodini per le persone anziane, e rimanere fermi accanto a una parete quando non servono. I seggiolini possono diventare un divano, un tavolo, trasformarsi in una serie di sedie.
Ogni "modulo" di Roombots o Molecubes è uguale agli altri, e governato da un software semplice, a volte esterno al robot stesso. Questi robot modulari sono dotati di sensori e antenne in grado di ricevere segnali dall'esterno: possono diventare una rete di piccoli robot che comunicano col laboratorio o tra di loro, in modo da svolgere un compito preciso. Uno di questi progetti, Kilobot, è riuscito a mettere insieme decine o centinaia di robot minuscoli (4 cm), che quando sono assieme agli altri "lavorano" come se fossero insetti sociali. E riescono a costruire strutture complesse, anche se ognuno di essi è molto piccolo e semplice.
I Kilobot, ideati dal Gruppo di ricerca sui sistemi autorganizzati della Harvard University, guidato da Radhika Nagpal, dimostrano una delle direzioni del software che governerà gli automi del futuro. Non più istruzioni lunghissime e difficili, ma poche regole, di facile esecuzione. Proprio come gli insetti so-▸

Come gli animali, i nuovi software evolvono per tentativi ed errori: sopravvive il più efficace a svolgere un dato compito

Immagine artistica di un nanorobot attaccato a un batterio.

Nell'uomo tenderanno a sfumare i confini fra biologico e meccanico

ciali, api, formiche e termiti; ogni singolo individuo fa poche cose e tutti insieme costruiscono strutture gigantesche.

TENTATIVI. Anche la programmazione cercherà di imitare la natura: «si sta puntando su sistemi che si adattano, si sviluppano e si programmano autonomamente, invece di essere programmati passo passo da un ingegnere» spiega Nolfi. L'unico compito del programmatore è stabilire l'obiettivo a cui arrivare: la costruzione di una struttura o l'orientarsi in costruzioni complesse. Si parte da molti programmi generati casualmente dal computer, leggermente diversi tra di loro, e li si fanno "combattere" per vedere qual è il più efficace.
Il passo cruciale, proprio come negli esseri viventi, è farli accoppiare di generazione in generazione, scambiandosi cioè pezzi di programma, e indurre variazioni casuali, come accade in biologia. È un processo per tentativi ed errori, che può proseguire per molte generazioni, fino ad avere un programma non perfetto (in natura la perfezione non esiste), ma il più funzionale rispetto all'obiettivo stabilito. Questo metodo può generare soluzioni inattese. E i programmi nati in questo modo saranno specializzati solo per il compito che devono svolgere.

NUOVI CYBORG. L'evoluzione, questa volta quella umana, si interseca con quella dei robot in uno scenario da fantascienza, quella dei *cyborg*: l'integrazione cioè tra strumenti tecnologici con i muscoli e il cervello umano, per ottenere un nuovo "essere". Anche un uomo dotato di *pacemaker* è un *cyborg*, così come persone sorde con protesi che raccolgono i segnali esterni e li inviano al cervello. In futuro si potrebbero avere non solo sensori, ma anche muscoli comandati dal cervello. Braccia e gambe che raccolgono gli impulsi delle aree motorie e agiscono di conseguenza. Come accade a Jason Barnes, un batterista che perse un braccio in un incidente sul lavoro: il professor Gil Weinberg del Georgia Institute of Technology gli ha costruito un braccio robotico che gli consente di suonare come prima. Nella nuova mano artificiale ha due bacchette: una segue gli ordini dei muscoli di Barnes, la seconda ascolta la musica e improvvisa. Non è difficile vedere dove si potrà arrivare: un'integrazione sempre più spinta tra le protesi meccaniche (o biologiche) e il sistema nervoso centrale di un uomo.
I sensi diverranno sempre più acuti e i nuovi muscoli sempre più forti, fino a rendere impossibile distinguere la parte biologica da quella meccanica. Il progresso della robotica ispirata alla biologia e della *soft robotics* permetterebbe un'integrazione sempre più spinta tra le parti, fino a sfumare i confini tra biologico e meccanico: per esempio, una nuovissima "macchina biologica", appena descritta nella rivista scientifica *Pnas,* è costituita da cellule muscolari viventi, unite a minuscole strutture meccaniche e comandate da impulsi elettrici. Siamo ancora lontani dai cyborg di *Blade Runner*, ma l'integrazione tra corpi umani e robot è appena cominciata.

Marco Ferrari

I nanorobot: farmacisti invisibili

Spingersi agli estremi limiti delle dimensioni è lo scopo della nanorobotica, la scienza che progetta robot minuscoli. Le misure di queste "macchine" vanno dagli 0,1 ai 100 nanometri (miliardesimo di metro); molto più piccole di un capello umano, e delle dimensioni di 10 atomi di idrogeno. Questi nanorobot, a differenza dei nanomateriali (immobili), sono dotati di motori molecolari che possono spostarli: molecole proteiche o frammenti di DNA, messi in moto dalla luce o da reazioni chimiche. L'uso di questi minuscoli automi sarà soprattutto in biomedicina: potrebbero essere iniettati nei pazienti e rilasciare farmaci quando incontrano condizioni particolari, per esempio una cellula cancerosa. Oppure potranno agire come "assistenti" dei globuli bianchi per combattere le infezioni e riparare tessuti.

MONDADORI PUBBLICITÀ S.p.A.

Sede: Milano - Via Bianca di Savoia, 12 - Capitale Sociale Euro 3.120.000,00
Iscritta al Tribunale di Milano n. 08696660151 - Codice Fiscale 08696660151
Società con unico azionista - Società soggetta ad attività di direzione
e coordinamento da parte di Arnoldo Mondadori Editore S.p.A.
Pubblicazione a norma della Legge 5 Agosto 1981 n. 416 e successive modificazioni
Il presente bilancio è redatto secondo i principi contabili internazionali IAS/IFRS

Stato patrimoniale al 31 dicembre 2013

ATTIVO	(Valori in Euro)
Attività immateriali	8.513
Investimenti immobiliari	
Terreni e fabbricati	
Impianti e macchinari	
Altre immobilizzazioni materiali	484.784
Immobili, impianti e macchinari	**484.784**
Partecipazioni contabilizzate al costo	3.297.222
Altre partecipazioni	
Totale partecipazioni	**3.297.222**
Attività finanziarie non correnti	2.143.895
Attività per imposte anticipate	2.126.500
Altre attività non correnti	
TOTALE ATTIVITÀ NON CORRENTI	**8.060.914**
Crediti tributari	5.803.011
Altre attività correnti	445.172
Rimanenze	
Crediti commerciali	87.516.696
Altre attività finanziarie correnti	551.418
Cassa e altre disponibilità liquide equivalenti	2.557
TOTALE ATTIVITÀ CORRENTI	**94.318.854**
Attività destinate alla dismissione	
TOTALE ATTIVO	**102.379.768**

PASSIVO	(Valori in Euro)
Capitale sociale	3.120.000
Riserva sovrapprezzo azioni	
Altre riserve e risultati portati a nuovo	6.908.929
Utile (perdita) dell'esercizio	-15.414.060
TOTALE PATRIMONIO NETTO	**-5.385.131**
Fondi	5.054.037
Indennità di fine rapporto	2.241.288
Passività finanziarie non correnti	
Passività per imposte differite	29.431
Altre passività non correnti	
TOTALE PASSIVITÀ NON CORRENTI	**7.324.756**
Debiti per imposte sul reddito	
Altre passività correnti	5.418.471
Debiti commerciali	67.452.880
Debiti verso banche e altre passività finanziarie	27.568.792
TOTALE PASSIVITÀ CORRENTI	**100.440.143**
Passività destinate alla dismissione	
TOTALE PASSIVO	**102.379.768**

Conto economico Esercizio 2013	(Valori in Euro)
Ricavi delle vendite e delle prestazioni	**141.610.275**
Variazione delle rimanenze	
Costi per materie prime, sussidiarie, di consumo e merci	
Costi per servizi	-147.370.160
Costo del personale	-9.311.291
Oneri (proventi) diversi	-5.051.160
MARGINE OPERATIVO LORDO	**-20.122.336**
Ammortamenti e perdite di valore di immobili, impianti e macchinari	-103.615
Ammortamenti e perdite di valore delle attività immateriali	-5.377
RISULTATO OPERATIVO	**-20.231.328**
Proventi (oneri) finanziari	-747.566
Proventi (oneri) da altre partecipazioni	
RISULTATO PRIMA DELLE IMPOSTE	**-20.978.894**
Imposte sul reddito	5.564.834
RISULTATO NETTO	**-15.414.060**

ELENCO DELLE TESTATE SERVITE

- AUTOMOBILE CLUB
- CAMBIO PANORAMAUTO
- CASAFACILE
- CASABELLA
- CHI
- CIAK SI GIRA
- CONFIDENZE TRA AMICHE
- CUCINA MODERNA
- CUCINA MODERNA ORO
- CUCINA NO PROBLEM
- DONNA MODERNA
- EVO
- FAMIGLIA CRISTIANA
- FLAIR
- FOCUS
- FOCUS D & RISPOSTE
- FOCUS EXTRA
- FOCUS JUNIOR
- FOCUS PICO
- FOCUS SPECIALI
- FOCUS WILD
- GEO
- GRAZIA
- GRAZIACASA
- GUIDA CUCINA
- GUIDA TV
- IL FOGLIO
- IL MEGLIO DI SALE & PEPE
- INTERNI
- MEN'S HEALTH
- PANORAMA
- PANORAMA ICON
- PC PROFESSIONALE
- PROMETEO
- SALE & PEPE
- SORRISI IN TAVOLA
- STARBENE
- TELEPIÚ
- TU STYLE
- TV SORRISI E CANZONI
- TV SORRISI CANZONI E SALUTE
- VERDE FACILE
- VIVERE IN ARMONIA

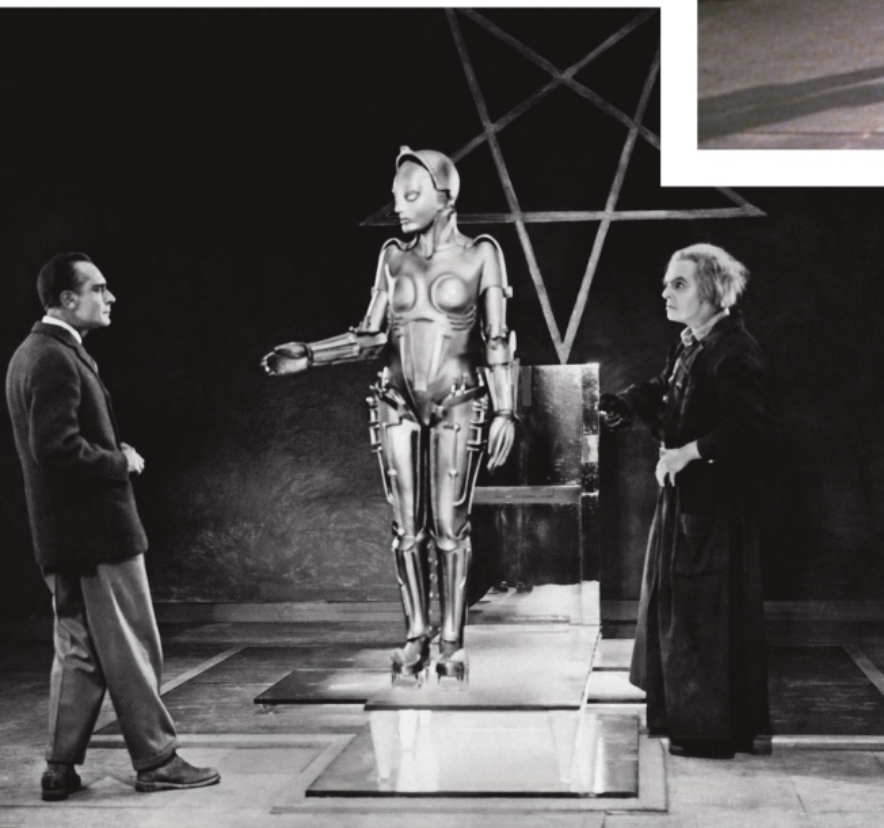
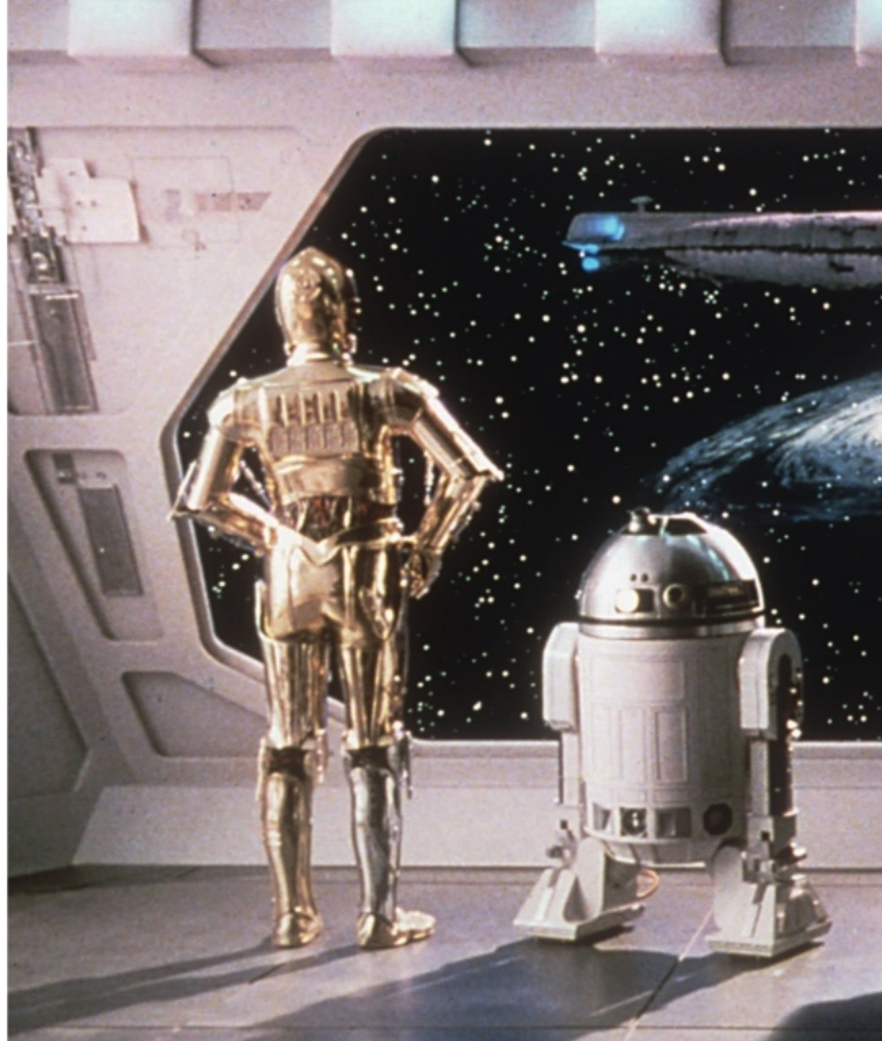
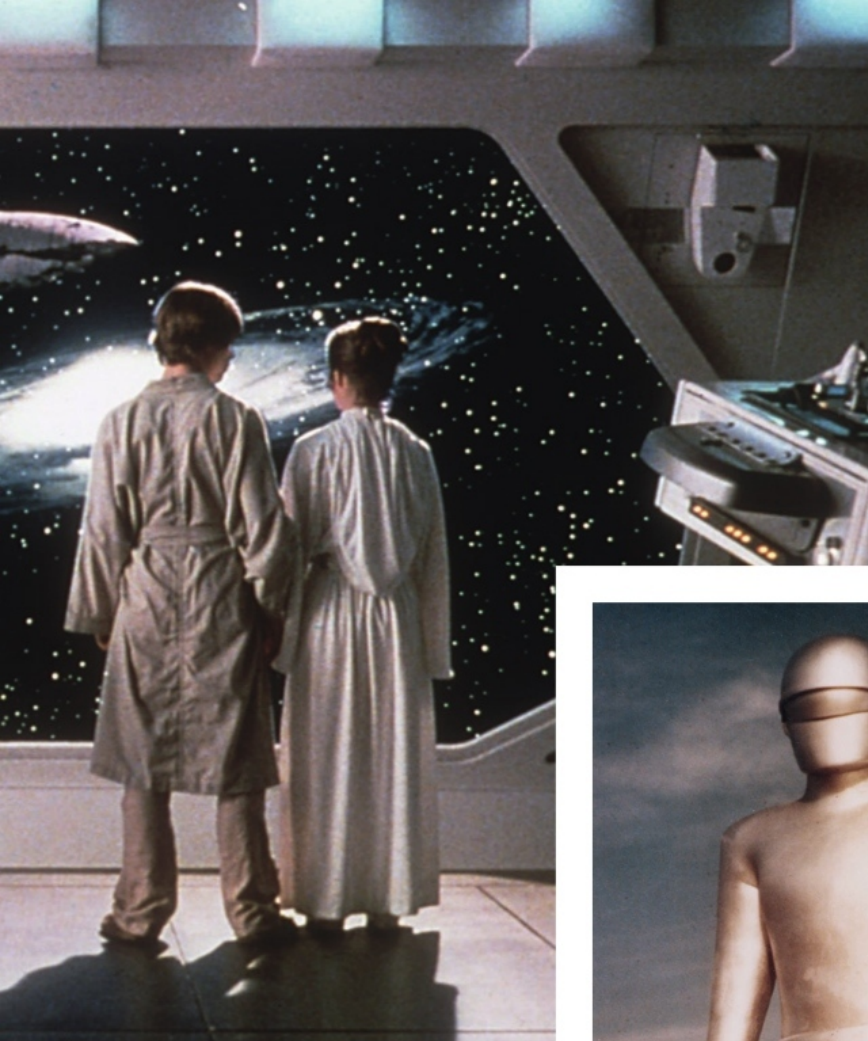
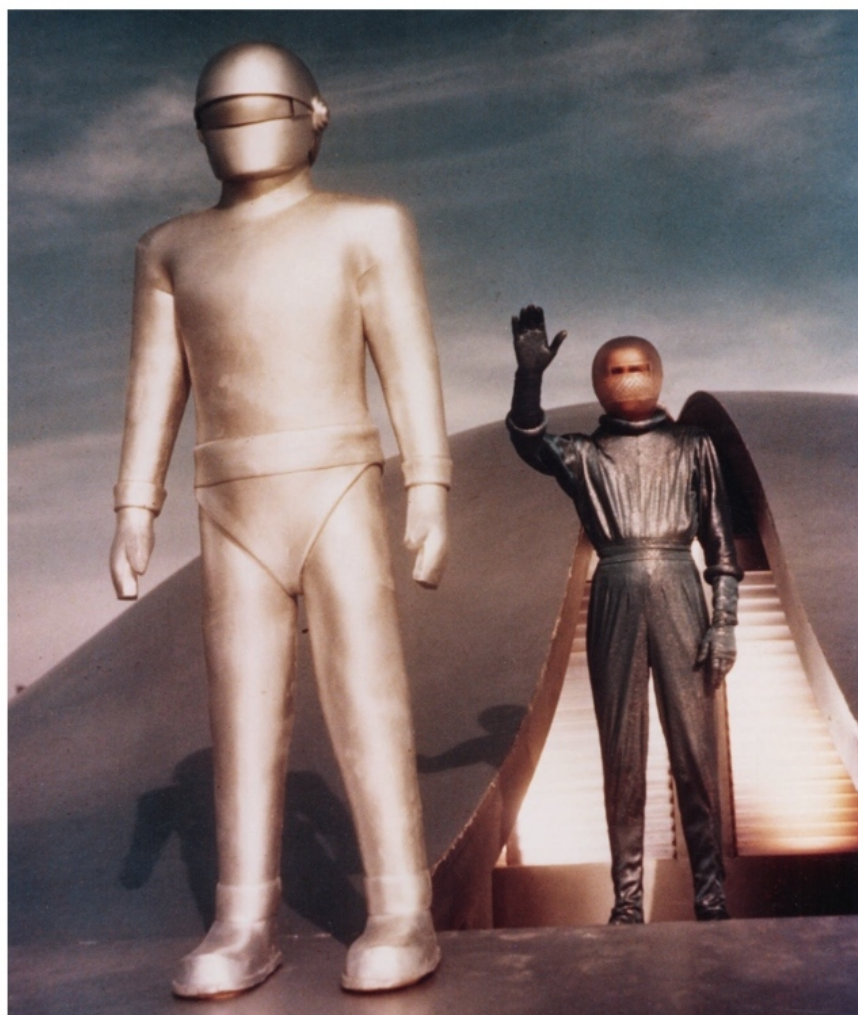
UN ESERCITO DI NEMICI
In *Io, robot* (2004), con Will Smith, il protagonista è il robot Sonny, interpretato da Alan Tudyk, ritoccato digitalmente. Il film è ispirato ai racconti di Isaac Asimov: un cervello centrale si è evoluto al punto da volere una dittatura dei robot.

Schiavi, ribelli e amici fantastici

Nella storia del cinema, i robot compaiono in circa 200 film. E hanno modellato il modo in cui immaginiamo gli automi e le loro caratteristiche.

A cura di Fabrizia Sacchetti

I primi robot agivano come gli uomini. Con il passare del tempo, hanno iniziato anche a pensare come gli uomini. E a provare emozioni

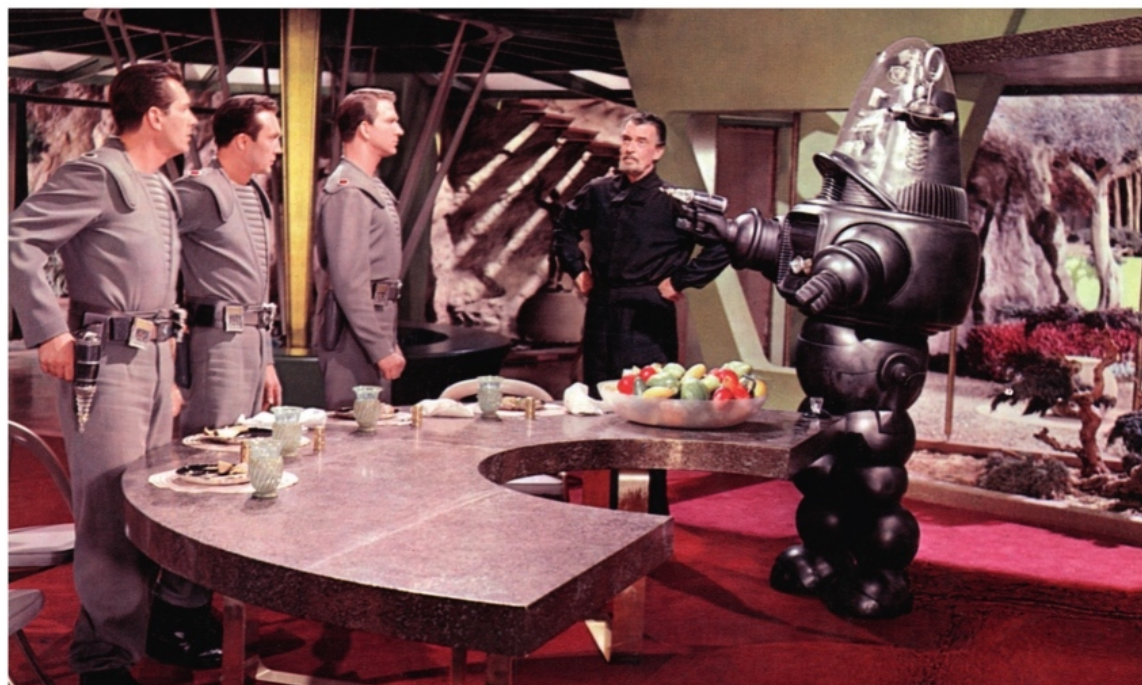
STANLIO E OLLIO IN VERSIONE HI-TECH
Nella saga *Guerre stellari* (dal 1977) di George Lucas, tra i protagonisti ci sono il piccolo R2-D2 e lo snello C-3PO. Dietro di loro si celano attori veri: Kenny Baker (alto 112 cm) e Anthony Daniels. «Danno un tocco di comicità: bisticciano come Stanlio e Ollio» spiega il critico Angelo Moscariello.

IL PRIMO? È FEMMINA. E RIBELLE
Il primo robot della storia del cinema è una femmina: Maria. Appare nel film *Metropolis* (1927), di Fritz Lang. Maria, costruita da uno scienziato, incita alla rivolta gli operai che lavorano come schiavi nei sotterranei di una megalopoli del 2026. Maria è interpretata da Brigitte Helm, che indossa un costume di legno plastico.

GORT, IL GIGANTE SCUDIERO
In *Ultimatum alla Terra* (1951), di Robert Wise, da un disco volante sbarca a Washington l'alieno Klaatu. Un soldato gli spara, e interviene in sua difesa il gigantesco robot Gort: è interpretato da Lock Martin, alto 220 cm. Indossava un costume di gommapiuma su una struttura di vetroresina: privo di aperture, poteva essere indossato solo 20 minuti.

TERMINATOR, CYBORG POTENTE E SPIETATO
In *Terminator* (1984), di James Cameron, debutta il "cyborg", un ibrido di macchina e tessuti viventi. La storia è ambientata nel 2029: il computer Skynet è in lotta contro un gruppo di uomini ribelli, perciò manda nel passato il cyborg T-800 (Arnold Schwarzenegger) per uccidere la madre del leader della resistenza. Il robot è un'invulnerabile macchina d'acciaio rivestita di tessuti umani.

Il primo con sembianze umane è apparso nel 1973, nel film *Il mondo dei robot*: Yul Brinner interpretava un androide pistolero con sguardo glaciale, che si ribella agli uomini

IL ROBOTTINO PULITORE DA OSCAR
Wall-E è il robot spazzino di una New York del 2805, priva di vita e coperta di rifiuti. È un mix fra E.T. e Charlot: merito di una squadra di animatori che riescono a rendere umani anche gli oggetti inanimati. Girato in digitale dalla Pixar, *Wall-E* (2008) ha vinto l'Oscar 2009 per il miglior film d'animazione.

UN POLIZIOTTO DI NERVI E TITANIO
In *Robocop* (1987), di Paul Verhoeven, arriva Robocop, creatura bionica: è l'agente Alex Murphy, ucciso da alcuni criminali. I suoi organi ancora intatti vengono assemblati con protesi in titanio e parti elettroniche, dando vita a un super-poliziotto.

I REPLICANTI MOLTO UMANI
In *Blade runner* (1984) debuttano androidi organici costruiti con l'ingegneria genetica. Nota Angelo Moscariello, autore di *Fantascienza* (Mondadori Electa): «Carne e metallo si integrano a tal punto che i non-umani risultano più umani degli umani». Nella foto, Roy Batty (Rutger Hauer) con Pris (Daryl Hannah).

ROBBY, SIMPATICO E SERVIZIEVOLE
Ne *Il pianeta proibito* (1956), l'equipaggio di un'astronave arriva sul pianeta Altair IV, dove è accolto dal simpatico Robby. Il robot, alto 220 cm, nasconde all'interno del corpo di plastica metallizzata l'attore Frankie Darro.

QUELLI CHE CAMBIANO FORMA
I robot alieni *Transformers* che arrivano dal pianeta Cybertron approdano dai fumetti al cinema nel 2007, con il primo film della saga (a luglio è uscito il 4° sequel). Sono robot capaci di cambiare il loro aspetto trasformandosi in aerei, auto e mostri.

LA DONNA IDEALE (CHE DIVENTA TROPPO UMANA)
Nel 1980, in *Io e Caterina,* anche Alberto Sordi recita con un robot: si chiama Caterina ed è l'ubbidiente robot-domestica che un riccone (Sordi) acquista dopo essersi liberato di moglie, amante e colf. Ma Caterina si umanizza e diventa fin troppo gelosa...

WOODY ALLEN, FINTO ROBOT A SCOPO DI SATIRA
Nella commedia fantascientifica del 1973 *Il dormiglione,* Woody Allen è un musicista jazz che si risveglia dopo 200 anni di ibernazione. Coinvolto nella ribellione contro un dittatore, si finge un robot-cameriere per evitare guai, dando vita a diverse gag comiche. Il film è una parodia della fantascienza e una satira sui limiti della tecnologia.

In *Android - Molto più che umano* (1982) uno scienziato vuole insegnare il sesso a Cassandra, una splendida androide femmina

IL ROBOT BAMBINO DI SPIELBERG
Il protagonista di *A.I. Intelligenza artificiale* (2001), di Steven Spielberg, è David, un bambino robot programmato per amare: sarà adottato da due genitori che hanno perso il figlio. Ma alla fine David, capace di provare sentimenti, sarà respinto sia dagli umani che dai robot: rimarrà solo per sempre?

// Focus EXTRA

Gruner+Jahr/Mondadori SpA
Via Battistotti Sassi, 11/A – 20133 Milano

La redazione integrata di Focus
Direttore Responsabile: Francesca Folda
Ha coordinato Focus Extra: Vito Tartamella
Ufficio centrale: Gian Mattia Bazzoli (caporedattore), Giovanna Camardo (caposervizio), Isabella Cioni (caporedattore), Emanuela Cruciano (caporedattore), Gianluca Ranzini (vicecaporedattore), Marina Trivellini (caporedattore art director).
Redazione Grafica: Giorgio Azzollini (caposervizio), Gloria Galbiati, Elena Lecchi, Luca Maniero (caporedattore art director), Francesca Patuzzi (caporedattore), Emanuela Ragusa, Luca Tomasi.
Photo Editor: Paola Brivio (caposervizio), Alessandra Cristiani (vicecaposervizio), Sara Ricciardelli, Daniela Scibè.
Redazione: Amelia Beltramini (caporedattore), Sabina Berra, Franco Capone (vicecaporedattore), Marco Ferrari (caposervizio), Margherita Fronte, Roberto Graziosi, Raffaella Procenzano (caporedattore), Fabrizia Sacchetti (caposervizio), Vito Tartamella (caporedattore), Stella Tortora (caporedattore), Raymond Zreick (caposervizio).
Segretaria di redazione: Antonella Buccino
Hanno collaborato a questo numero: Nicola Bruno, Daniela Cipolloni, Marco Consoli, Raffaele Mastrolonardo, Nicola Nosengo, Riccardo Oldani, Francesco Orsenigo, Francesca Tarissi, Margherita Zannoni.

Business Manager Carolina Cefalù
Direct Marketing & Digital Circulation Development Manager Michela Lupi
Coordinamento tecnico Valter Martin

Gruner+Jahr/Mondadori S.p.A.

Amministratore delegato e Coo Roberto De Melgazzi
Publisher Elena Bottaro
Direttore del Personale e Affari Legali Lucio Ricci
Direttore controllo di gestione Paolo Cescatti

Focus Extra: Pubblicazione registrata presso il Tribunale di Milano, n. 645 del 13/10/99. Tutti i diritti di proprietà letteraria e artistica sono riservati. Il materiale ricevuto e non richiesto (testi e fotografie), anche se non pubblicato, non sarà restituito. **Direzione, redazione, amministrazione:** Via Battistotti Sassi 11/A Milano. Telefono 02/762101. Fax amministrazione: 02/76013439. Fax redazione: 02/76394065. E-mail: focusextra@gujm.it **Stampa:** Nuovo Istituto D'Arti Grafiche SpA, Bergamo. **Distribuzione:** Press-di Distribuzione Stampa e Multimedia Srl - 20090 Segrate (Mi). **Abbonamenti:** 4 numeri € 15,90 + spese di spedizione. Non inviare denaro. Per informazioni o per comunicare il cambio di indirizzo telefonare esclusivamente ai numeri: dall'Italia 199 111 999 costo da telefono fisso € 0,12+ Iva al minuto senza scatto alla risposta, costo da cellulare in funzione dell'operatore; dall'estero +39 041.5099049; fax 030.7772387. Il servizio abbonamenti è in funzione da lunedì a venerdì dalle 9.00 alle 19.00. Oppure scrivere a Press-di Srl Servizio Abbonamenti – Via Mondadori, 1– 20090 Segrate (MI); E-mail: abbonamenti@mondadori.it. Internet: www.abbonamenti.it/gruner **Servizio collezionisti:** I numeri arretrati possono essere richiesti direttamente alla propria edicola, al doppio del prezzo di copertina per la copia semplice e al prezzo di copertina maggiorato di € 4,00 per la copia con allegato (DVD, libro, CD, gadget). La disponibilità è limitata agli ultimi 18 mesi per le copie semplici e agli ultimi 6 mesi per le copie con allegato, salvo esaurimento scorte. Per informazioni: tel. 199 162 171 (il costo della telefonata è di 14,25 centesimi al minuto iva inclusa). Fax 02/95970342. Email collez@mondadori.it **Garanzia di riservatezza per gli abbonati:** L'editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione ai sensi dell'art. 7 D. leg. 196/2003 scrivendo a: Press-Di srl Ufficio Privacy – Via Mondadori,1– 20090 Segrate (MI). E-mail: abbonamenti@mondadori.it **Pubblicità:** Mondadori Pubblicità - Sede centrale: 20090 Segrate (Mi) - Tel. 02/7542.3262 - Fax 02/7542.3028. Sedi regionali: TORINO (tutto il Piemonte/tutta la Val D'Aosta) Delfino Pubblicità Srl, Via Buozzi, 10 - 10123 Torino - Tel. 011/54.31.48 - 54.29.87 - Fax. 011/56.20.829. GENOVA (Genova, Imperia, La Spezia, Savona, Costa Azzurra) A. R. Mediamaster Srl, Piazza Piccapietra, 83 - int. 74 - 16121 Genova - Tel. 010/58.50.82 - 58.50.91 - Fax. 010/59.21.53. VERONA (Bolzano, Rovigo, Trento, Verona) F.C.G., Via Alberto Mario, 10 - 37121 Verona - Tel. 045/80.00.868 - Fax. 045/59.10.81. PADOVA (Padova, Belluno, Gorizia, Pordenone, Treviso, Trieste, Udine, Venezia, Vicenza) Media Gest Srl, Galleria dei Borromeo, 4 - 35137 Padova - Tel. 049/87.52.025 - Fax. 049/87.51.461. BOLOGNA (Bologna, Ferrara, Forlì, Modena, Ravenna, Rimini, S. Marino) Mondadori Pubblicità, via Pasquale Muratori 7 - 40134 Bologna - Tel. 051/4391201 - Fax 051/4399156. PARMA (Parma, Piacenza, Reggio Emilia) Agenzia di Parma Roberta Tanzi, Borgo Antini, 1 - 43100 Parma - Tel. 0521/38.61.77 - Fax. 0521/38.64.94. FIRENZE (Arezzo, Grosseto, Livorno, Lucca, M.Carrara, Pisa, Pistoia, Siena) Mondadori Pubblicità, Piazza Savonarola, 9 - 50132 Firenze - Tel. 055/500591 - FAX 055/577119. PERUGIA (Perugia, Terni) Mondadori Pubblicità, Colle Umberto I, 59 - 06070 Perugia - Tel. 075/58.42.017 - Fax. 075/6059304. ANCONA (Macerata, Pesaro/Urbino, Ancona, A.Piceno) M. P. Pubblicità Srl, Via Flaminia, 368/c - 60015 Falconara M.ma (An) - Tel. 071/59.03.050 - Fax. 071/91.74.578. ROMA (Roma, Latina, Frosinone, Rieti, Viterbo) Mondadori Pubblicità, Via Michele Mercati, 39 - 00197 Roma - Tel. 06/32.83.41 - Fax. 06/32.83.44.80 - 06/32.83.44.60. BARI (Bari, Brindisi, Campobasso, Foggia, Lecce, Matera, Potenza, Taranto) Media Time Srl, Via Diomede Fresa, 2 - 70125 Bari - Tel. 080/54.61.169 - Fax. 080/54.61.122. NAPOLI (Avellino, Caserta, Napoli, Salerno) Mondadori Pubblicità – Via dei Mille, 16 – 80121 Napoli (mondadoripubblicita.na@mondadori.it). PALERMO (Cagliari, Caltanissetta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Messina, Nuoro, Palermo, Ragusa, R.Calabria, Sassari, Siracusa, Trapani) Gap Srl, Via R. Wagner, 5 - 90139 Palermo - Tel. 091/61.21.416 Fax 091/58.46.88. TERAMO (L'Aquila, Chieti, Isernia, Pescara, Teramo) Luigi Gorgoglione, Via Ignazio Rozzi, 8 - 64100 Teramo - Tel. 0861/24.32.34 Fax 0861/25.49.38.

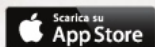
Periodico associato alla FIEG (Federaz. Ital. Editori Giornali)

Codice ISSN: 1129-2652

IMMAGINI

COPERTINA: foto di Massimo Brega
CONTROCOPERTINA: Reuters/contrasto
GRAFFITARO CON I CHIP: Brendan McDermid/Reuters/Contrasto.
IL PRIMO HA 2000 ANNI: pag. 8-9 (2)Centro Leonardo3; pag. 10 (2)Bridgeman/Alinari, Centro Leonardo3; pag. 11 Fototeca Gilardi; pag. 12 Fototeca Gilardi, Bridgeman/Alinari, Centro Leonardo3; pag. 13 Fototeca Gilardi.
LA GRANDE FAMIGLIA DEI ROBOT: pag. 14-15 RoboCup2013/Bart van Ov, Robert Markowitz/Nasa-JPL, Intuitive Surgical, Robot Era/Istituto di Biorobotica Scuola Superiore Sant'Anna,Google,iRobot, Nasa/JPL,Kiost – Korean Institute of Ocean Science and Technology,T8X/Robugtix.
OPERAI D'ACCIAIO: pag.16-17 Dave Kaup /Reuters/Contrasto; pag.18-19 KUKA, Rethink Robotics, Università di Catania/Dipartimento di Ingegneria Elettrica Elettronica e Informatica; pag. 20 Sean Gallup/Getty Images, DLR.
DOMESTICI COL CHIP: pag. 22-23 Getty Images; pag. 24-25Getty Images, Scuola Superiore Sant'Anna, iRobot (2).
ESPLORATORI E SALVATORI: pag. 26-27 Gene Blevins/Reuters/Contrasto; pag. 28-29 Nasa/Reuters/Contrasto, Henry Romero/Reuters/Contrasto, Kiost – Korean Institute of Ocean Science and Technology; pag. 30-31 Alamy/IPA, Woods Hole Oceanographic Institution Nasa/JPL, Reuters/Contrasto.
MACCHINE DA GUERRA: pag. 32-33 iRobot, Erik De Castro/Reuters/Contrasto; pag. 34-35 Talos/Ussocom, Thomas Mukoya/Reuters/Contrasto, Hulc/Lockheed Martin.
PROFETI DELLA ROBOTICA: pag.36-37 Fototeca Gilardi, Alany/IPA, Mondadori Portfolio, (2)MaryEvans/Alinari; pag. 38-39 (2)Fototeca Gilardi, Everett Collection/Contrasto, Bridgeman/Alinari, Mary Evans/Alinari.
FATTI A NOSTRA IMMAGINE: pag.40-41 YoshikazuTsuno/Getty Images; pag.42-43Geminoid.Dk/Hansen photography, Geminoid.Dk/Rune Meldahl, AAU, Geminoid.Dk/Henrik Scharfe, AAU, De Agostini; pag.44-45 Reuters/Contrasto, Aldebaran/Softbank, Istituto Italiano di Tecnologia, Makoto Ishida/Geminoid.jp.
ICUB, IL ROBOT CHE IMPARA: pag.46-55 Massimo Brega.
L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE: pag. 56-57 Spl/Contrasto; pag. 58-59 IBM, William Whitehurst/Corbis, Google, pag. 60 Contrasto.
PERCHÉ AMIAMO UNA MACCHINA: pag.62-63 Sean Gallup/Getty Images; pag. 64-65 Valentin Flauraud/Reuters/Contrasto, Aldebaran/Softbank, TrueCompanion; pag. 66 Donna Coveney/MIT; pag. 67 Gallerystock/Contrasto, Corbis, (2)Reuters/Contrasto,
UN ROBOT PER AMICO pag. 68-69 (2)Deanne Fitzmaurice /Getty Images; pag. 70-71 Scuola Superiore Sant'Anna, Andrea Orlandini/CNR, Paro Robots US Inc/Kiyoshi Ota/Getty Images, pag. 72 Yuriko Nakao/Reuters/Contrasto
OPERATI DALLE MACCHINE: pag. 76-79 Intuitive Surgical (2)
L'UNIONE FA LA FORZA: pag. 80-81 PhotoMasi, pag. 82-83 Enrique Calvo/Reuters/Contrasto, Self-organizing Systems Research Group, Harvard University/Radhika Nagpal, Festo Self-organizing Systems Research Group, Harvard University/Radhika Nagpal Swarmanoid project Flight Assembled Architecture, Gramazio & Kohler and Raffaello D'Andrea in cooperation with ETH Zurich at the FRAC Orléans (Co-Producer), foto di François Lauginie.
ATLETI DI LAMIERA: pag. 90-95 RoboCup2013/Bart van Ov, RoboCup2013/Bart van Ov, Robogames/Sam Coniglio, Festo, Carnegie Mellon University/Tartan Rescue, Darpa Robotics Challenge.
UN MERCATO EFFERVESCENTE: pag. 96-97 Andrew Winning/Reuters/Contrasto; Serva Transport Systems; pag. 100 Javier Larrea/Contrasto, Kiva systems.
LE (VERE) LEGGI DEI ROBOT: pag. 102-103 Brendan Smialowski/Getty Images; pag 104 Volvo pag. 106 Getty Images.
I ROBOT DEL FUTURO: pag. 108-109 (2)Biorobotics Laboratory, EPFL; pag. 110-111 Eyevine/Contrasto, Richard Levine/Corbis, Rex/Olycom; Pag. 112 Spl/Contrasto.
SCHIAVI, RIBELLI E AMICI FANTASTICI: pag. 114-115 Everett Collection/Contrasto; pag. 116-117 (4) Everett Collection/Contrasto; pag. 118-119 (3) Everett Collection/Contrasto, Album/Contrasto; pag. 120-121 (2) Everett Collection/Contrasto, Olycom.

Scarica su
App Store

DISPONIBILE SU
Google play

«Creare un uomo artificiale sulla Terra è una sfida paragonabile a quella di mandare un uomo sulla Luna»

Roberto Cingolani, direttore scientifico dell'Istituto Italiano di Tecnologia